



**Universidade de
Aveiro**
Ano 2011

Departamento de Engenharia Mecânica

**Fernando da Rocha
Capela**

**Optimização de sistemas bi-material obtidos por
moldação por injeção**



**Universidade de
Aveiro**
Ano 2011

Departamento de Engenharia Mecânica

**Fernando da Rocha
Capela**

**Optimização de sistemas bi-material obtidos por
moldação por injeção**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Mónica Sandra Abrantes de Oliveira Correia e do Professor Doutor Robertt Angelo Fontes Valente, Professores Auxiliares do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho a todos aqueles que em algum momento das suas vidas contribuíram para a sua conclusão. O seu apoio foi fundamental. Muito obrigado.

“O melhor tempo que gastamos é o que investimos nas pessoas.”

Fernando Pessoa

Júri

Presidente

Professor Doutor António Manual Godinho Completo
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Arguente

Doutor Joel Correia Oliveira Vasco
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria. Instituto Politécnico de Leiria

Orientadora

Professora Doutora Mónica Sandra Abrantes de Oliveira Correia
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientadora)

Co-orientador

Professor Doutor Robertt Angelo Fontes Valente
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro (co-orientador)

Agradecimentos

Quero expressar o meu agradecimento à Professora Doutora Mónica Sandra Abrantes de Oliveira Correia, pela orientação e coordenação prestada ao longo deste trabalho. Ao Professor Doutor Robertt Angelo Fontes Valente pelo apoio de co-orientação. À empresa Prifer Moldes que se disponibilizou com recursos humanos e tecnológicos. A todas as pessoas ligadas à Prifer Moldes, especialmente ao Doutor Carlos Neves, Sr. João Prior, Alexandre Prior, Rogério Duque, José Ferreira, Pedro Caetano, Paulo Gouveia, Maria João, Jorge Cardoso, Luís Martins, José Coimbra, João Rocha e Jorge Cardoso. Ao João Santos, Rui Sendão e Diane Percie du Sert. Ao meu irmão. Aos meus pais, que sempre me apoiaram e me ofereceram a possibilidade de frequentar o ensino superior. Por fim, uma palavra de apreço a todos os meus amigos que me ajudam a ser quem sou e a atingir esta nova etapa da minha vida.

Palavras-chave

Moldes, moldação por injeção, sobre-moldação, otimização, sistemas híbridos, SEBS, policarbonato, inserto, simulação numérica, adesão, tensões residuais

Resumo

A nível mundial, a indústria de moldes enfrenta desafios cada vez mais ambiciosos do ponto de vista tecnológico. A intensificação das parcerias entre universidades e empresas é uma mais-valia, da qual resultam casos de estudo reais muito interessantes. Com este trabalho pretende-se responder a problemas industriais verificados ao longo do processo de injeção de um sistema híbrido. Do processo de sobre-moldação de um elastómero (SEBS) num inserto em policarbonato revelou-se um conjunto de falhas críticas que inviabilizam a produção final do modelo: adesão entre polímeros, não uniformidade do enchimento, marcas de fluxo, hesitação, “chupados” e “queimados”. O redesign do modelo solucionou os problemas de adesão na interface policarbonato-SEBS. O recurso a ferramentas computacionais de simulação numérica tornou possível realizar um estudo paramétrico do processo de injeção por sobre-moldação, de forma a averiguar a influência da velocidade, pressão, temperatura e tempo na qualidade estrutural e na estabilidade dimensional do modelo. O resultado final do estudo paramétrico é um perfil de injeção otimizado para o processo de produção em grande escala da peça. Este trabalho prova que dois polímeros completamente distintos são compatíveis e formam uma peça funcional.

Keywords

Molds, injection molding, overmolding, insert molding, numerical simulation, optimization , hybrid systems, SEBS, polycarbonate, adhesion, residual stress.

Abstract

The world injection molding industry is passing through ambitious challenges day after day on the technology point of view. The partnerships between universities and companies are very important to develop the molding industry. The present work appears in order to solve a real industrial problem of a hybrid system. The overmolding process of an elastomer (SEBS) on a thermoplastic insert (polycarbonate) reveals several critical failures: adhesion between the polymers, flow not unidirectional, hesitation effect, sink marks and burn marks. The part is compromised. A model re-design was proposed in order to solve the adhesion problem on the interface polycarbonate-SEBS. Numerical simulation tools are powerful resources to study the overmolding process. In the present work they are used to verify the influence of the injection parameters like velocity, pressure, temperature and time on the structural and dimensional quality of the part. The result of the parametric study is an injection profile optimized for the industrial mass production of the part, which also proves the compatibility between two distinct polymers by producing a functional part.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE ABREVIATURAS	IX
CAPÍTULO 1 – ENQUADRAMENTO DO TRABALHO	1
1.1 GUIA DE LEITURA.....	1
1.2 OBJECTIVO	1
1.3 INTRODUÇÃO	2
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1 MOLDAÇÃO POR INJECCÃO	7
2.1.1 <i>Sobre-moldação</i>	7
2.1.2 <i>Parâmetros da máquina de injeção</i>	10
2.2 POLÍMEROS	14
2.2.1 <i>Termoplásticos</i>	14
2.2.2 <i>Polycarbonato (PC)</i>	18
2.2.3 <i>Elastómeros</i>	19
2.2.4 <i>Estireno – etileno – butileno – estireno (SEBS)</i>	21
2.2.5 <i>Viscoelasticidade</i>	23
2.2.6 <i>Comportamento de polímeros fundidos</i>	24
2.2.7 <i>Comportamento dos polímeros durante a moldação</i>	26
2.3 CONCEITOS TEÓRICOS SOBRE SIMULAÇÃO NUMÉRICA	31
2.4 ESTADO DA ARTE	36
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA EXPERIMENTAL	39
3.1 APRESENTAÇÃO DO PROJECTO	39
3.2 LEVANTAMENTO DE PROBLEMAS	40
3.3 ADESÃO NA INTERFACE PC/SEBS	44
3.4 TRATAMENTO DE DADOS.....	45
3.5 MATÉRIAS-PRIMAS	45
3.6 MÁQUINA DE INJECCÃO.....	46
3.7 ESTUDO DO PERFIL DE INJECCÃO DA FASE DE PRÉ-PRODUÇÃO	47
3.7.1 <i>Discussão de resultados</i>	48
3.8 DEFINIÇÃO DE UM PERFIL DE INJECCÃO PADRÃO	52
3.8.1 <i>Discussão de resultados</i>	52
3.9 ESTUDO DOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O PROCESSO DE INJECCÃO	54
3.9.1 <i>Velocidade de injeção</i>	54
3.9.2 <i>Curso</i>	55
3.9.3 <i>Temperatura</i>	55
3.9.4 <i>Pressão de manutenção e tempo de manutenção (fase de pressurização)</i>	55
3.9.5 <i>Tempo de arrefecimento</i>	55
3.9.6 <i>Geometria do modelo</i>	56
3.9.7 <i>Discussão de resultados</i>	57
3.10 OPTIMIZAÇÃO DO PERFIL DE INJECCÃO	66

3.10.1	<i>Discussão de resultados</i>	67
3.11	INFLUÊNCIA DOS RESULTADOS TEÓRICOS NA PRODUÇÃO FINAL	70
3.12	ANÁLISE DE EMPENOS	71
3.13	VISUALIZAÇÃO DAS TENSÕES RESIDUAIS	74
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS		77
4.1	CONCLUSÕES	77
4.2	PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS.....	78
BIBLIOGRAFIA.....		79
ANEXOS.....		81
ANEXO 1 – FICHA TÉCNICA: SABIC® PC 1000R RESIN.....		83
ANEXO 2 – FICHA TÉCNICA: SABIC INNOVATIVE PLASTICS JAPAN LLC - LEXAN 945.....		87
ANEXO 3 – FICHA TÉCNICA: SEBS VS21030811 – CJP SALES LTD.....		91
ANEXO 4 – FICHA TÉCNICA: MULTIFLEX G 75 A 520		94
ANEXO 5 – FICHA TÉCNICA: FERROMATIK K-TEC 250 S.....		96
ANEXO 6 – FICHA TÉCNICA: INAUTOM EURO INJ D-400		100
ANEXO 7 – PERFIL DE INJEÇÃO: PRÉ-PRODUÇÃO		102
ANEXO 8 – PERFIL DE INJEÇÃO: PRODUÇÃO		105

Lista de Figuras

Figura 1: Esquema de uma máquina de injeção. (adaptado de [3]).....	2
Figura 2: Ciclo de moldação. (adaptado de [2]).....	3
Figura 3: Molde bi-material: duas unidades de injeção. (adaptado de [8]).....	7
Figura 4: Molde bi-material: rotação. (adaptado de [8]).....	8
Figura 5: Evolução da temperatura média do molde durante o processo de moldação por injeção. (adaptado de [2])	11
Figura 6: Evolução da temperatura na interface molde-polímero após a injeção do polímero. (adaptado de [2]).....	12
Figura 7: Evolução da pressão para diferentes zonas do sistema hidráulico, unidade de injeção e molde. (adaptado de [2])	13
Figura 8: Microestrutura dos termoplásticos. (adaptado de [9]).....	15
Figura 9: Relação volume específico – temperatura. (adaptado de [4])	16
Figura 10: Fórmula química do PC. (adaptado de [4]).....	18
Figura 11: Copolímeros em blocos de estireno: morfologia. (adaptado de [11]).....	20
Figura 12: Polibutadieno, Poliisopreno. (adaptado de [11])	21
Figura 13: polibutadieno; poli(etileno-butileno). (adaptado de [11])	22
Figura 14: Comparação entre a deformação num material elástico (b), num fluido viscoso (c) e num material viscoelástico (d) ao longo da actuação de uma tensão constante até ao momento t_1 (a). (adaptado de [14]).....	23
Figura 15: Curva tensão de corte - taxa de corte que define o comportamento de diferentes fluidos: a) Hershel-Buckley, b) Bingham, c) Pseudoplásticos ou Reofluidificantes, d) Newtonianos, e) Dilatantes ou Reopessantes. (adaptado de [15]) ..	24
Figura 16: Curva viscosidade - taxa de corte em função da temperatura do termoplástico. (adaptado de [2])	25
Figura 17: Perfis de velocidade de fluidos Newtonianos (N) e Reofluidificantes (P). (adaptado de [16])	26

Figura 18: Diagrama PVT de um polímero amorfo. (adaptado de [2]).....	28
Figura 19: Diagrama PVT de um polímero semi-cristalino. (adaptado de [2])	28
Figura 20: Obstrução mecânica interna verificada na peça devido à solidificação da casca. (adaptado de [2]).....	29
Figura 21: Relação entre a contracção e a espessura em materiais semi-cristalinos. (adaptado de [2])	29
Figura 22: Influência da fase de pressurização na contracção: a) pressão; b) tempo. (adaptado de [2]).....	30
Figura 23: Relação entre a contracção e a temperatura do molde. (adaptado de [2]).....	30
Figura 24: Relação entre a contracção e a temperatura de injeção. (adaptado de [2]) ..	31
Figura 25: Relação entre a contracção e a temperatura de desmoldação. (adaptado de [2]).....	31
Figura 26: Fluxo multidireccional (à esquerda) e fluxo unidireccional (à direita). (adaptado de [18]).....	32
Figura 27: Comparação entre um padrão de arrefecimento uniforme, à esquerda, e um padrão de arrefecimento não uniforme, à direita. (adaptado de [18]).....	32
Figura 28: Sistemas de alimentação: a) naturalmente balanceado; b) sem balanceamento. (adaptado de [18])	33
Figura 29: Esquema: formação de linhas de soldadura. (adaptado de [18])	33
Figura 30: Esquema: formação de linhas de fundido. (adaptado de [18])	33
Figura 31: Hesitação. (adaptado de [18])	34
Figura 32: <i>Underflow</i> . (adaptado de [18])	34
Figura 33: Perfil de velocidade de um fluido Newtoniano.	35
Figura 34: Perfis de pressão na cavidade do molde associados à comutação V/P. (adaptado de [2])	36
Figura 35: Sobre-moldação do PBT num inserto de bronze. (adaptado de [5])	36
Figura 36: 1665: inserto em PC.....	39
Figura 37: 1666: SEBS.....	39
Figura 38: Formação de rebarbas nos furos de centragem (1).....	40
Figura 39: Formação de rebarbas nos furos de centragem (2).....	41
Figura 40: Marcas de fluxo no exterior do inserto.	41
Figura 41: Marcas de fluxo no interior do inserto.	41

Figura 42: Zonas com rebarba.....	42
Figura 43: 1) “chupado”; 2) “queimado”. Também são visíveis as marcas de rebarba.	42
Figura 44: Estrias.....	43
Figura 45: A hesitação impede o enchimento integral.....	44
Figura 46: Adição de nervuras ao modelo para aumentar a superfície de contacto na interface PC/SEBS.	45
Figura 47: Evolução da pressão na cavidade ao longo do tempo (Simulação 1 - PC).....	49
Figura 48: Evolução da pressão na cavidade ao longo do tempo (Simulação 1 - SEBS). 49	
Figura 49: Nervuras onde ocorrem mudanças de direcção na frente do fluido (PC).	51
Figura 50: Região onde se localizam as tensões de corte maiores (PC).....	51
Figura 51: Evolução da pressão na cavidade ao longo do tempo (Simulação 2 - PC).....	53
Figura 52: Evolução da pressão na cavidade ao longo do tempo (Simulação 2 - SEBS). 53	
Figura 53: Inserto original.	56
Figura 54: Proposta de alteração ao inserto.	56
Figura 55: Simulação 3: perfis de pressão.....	57
Figura 56: Simulação 4: perfis de pressão.....	58
Figura 57: Simulação 5: perfis de pressão.....	58
Figura 58: Simulação 6: perfis de pressão.....	60
Figura 59: Simulação 7: perfis de pressão.....	60
Figura 60: Simulação 8: perfis de pressão.....	60
Figura 61: Simulação 15: perfis de pressão.....	63
Figura 62: Simulação 16: perfis de pressão.....	63
Figura 63: Simulação 17: perfis de pressão.....	63
Figura 64: Região do elastómero onde a fracção arrefecida apresenta o valor máximo (assinalado pela seta).....	68
Figura 65: Simulação 24: perfil de pressões do PC.	69
Figura 66: Simulação 24: perfil de pressões do SEBS.....	69
Figura 67: Produção da peça final (1).....	70
Figura 68: Produção da peça final (2).....	71
Figura 69: Resultado da simulação 25 para a análise de empenos, com base no desvio tridimensional dos nós.	72

Figura 70: Distribuição das tensões de von Mises no Inserto em PC.	74
Figura 71: Distribuição das tensões de von Mises no componente em SEBS.	75

Lista de Tabelas

Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos moldes bi-material. [8].....	8
Tabela 2: Principais propriedades dos termoplásticos. [2]	14
Tabela 3: Exemplos de polímeros amorfos e polímeros cristalinos [4]	17
Tabela 4: Propriedades gerais dos polímeros amorfos e dos polímeros cristalinos. [4]....	17
Tabela 5: Características e aplicações do PC. [4].....	19
Tabela 6: Comparação entre S-B-S, S-I-S, S-EB-S e S-EP-S. [11].....	22
Tabela 7: Resumo das propriedades dos polímeros utilizados no estudo.	46
Tabela 8: Resumo das condições de processamento.	46
Tabela 9: Modelos das máquinas de injeção.....	47
Tabela 10: Perfil de injeção do PC e do SEBS durante a pré-produção.	47
Tabela 11: Simulação 1: parâmetros introduzidos no Moldflow®.	48
Tabela 12: Resultados da simulação 1 (parte 1).	48
Tabela 13: Resultados da simulação 1 (parte 2).	48
Tabela 14: Simulação 2.	52
Tabela 15: Resultados da simulação 2 (parte 1).	54
Tabela 16: Resultados da simulação 2 (parte 2).	54
Tabela 17: Variação da velocidade de injeção.	54
Tabela 18: Variação do curso do parafuso de injeção.....	55
Tabela 19: Variação da temperatura do molde.	55
Tabela 20: Variação da temperatura de injeção do fluido.....	55
Tabela 21: Variação da pressão de manutenção.	55
Tabela 22: Variação do tempo ao longo do qual actua a pressão de manutenção.....	55
Tabela 23: Tempo de arrefecimento.	55
Tabela 24: Resultados das simulações 3, 4 e 5 (Parte 1).	58
Tabela 25: Resultados das simulações 3, 4 e 5 (Parte 2).	59

Tabela 26: Resultados das simulações 6, 7 e 8 (Parte 1).....	59
Tabela 27: Resultados das simulações 6, 7 e 8 (Parte 2).....	59
Tabela 28: Resultados das simulações 9, 10, 11, 12, 13 e 14 (Parte 1).	61
Tabela 29: Resultados das simulações 9, 10, 11, 12, 13 e 14 (Parte 2).	62
Tabela 30: Resultados das simulações 15, 16, 17, 18, 19 e 20 (Parte 1).	64
Tabela 31: Resultados das simulações 15, 16, 17, 18, 19 e 20 (Parte 2).	64
Tabela 32: Resultados das simulações 21, 22 e 23 (Parte 1).....	65
Tabela 33: Resultados das simulações 21, 22 e 23 (Parte 2).....	65
Tabela 34: Propriedades afectadas pela alteração dos parâmetros entre simulações (PC).	65
Tabela 35: Propriedades afectadas pela alteração dos parâmetros entre simulações (SEBS).....	66
Tabela 36: Simulação 24: Perfil de injeção ideal.....	66
Tabela 37: Resultados da simulação 24 (1).....	68
Tabela 38: Resultados da simulação 24 (2).....	68
Tabela 39: Definição das simulações inerentes ao estudo dos empenos.	73
Tabela 40: Resultados inerentes aos desvios dimensionais da peça.	73

Lista de abreviaturas

CAD – Computer Aided Design

PMH – Polymer-Metal Hybrids

CTE – Coeficiente de expansão térmica linear

PC – Policarbonato

SEBS – Estireno-etileno-butileno-estireno

STL – Stereolithography file format (CAD software)

TPE – Thermoplastic elastomer

STEP – Standard for the Exchange of Product model data file format

VMC – vertical machining center

CNC – computer numeric control

PBT – Tereftalato de polibutileno

I&D - Investigação e Desenvolvimento

x

Capítulo 1 – Enquadramento do trabalho

1.1 Guia de leitura

O trabalho que aqui se apresenta está subdividido em quatro capítulos, aos quais se acresce a bibliografia e os anexos.

1. Enquadramento do trabalho

O objectivo deste capítulo é enquadrar o trabalho desenvolvido num ramo específico da indústria, mostrar o seu desenvolvimento ao longo da história e introduzir conceitos-chave que sustenta a moldação por injeção.

2. Revisão bibliográfica

Numa primeira fase deste capítulo caracteriza-se a tecnologia híbrida utilizada ao longo da componente experimental do trabalho. De seguida, revê-se conceitos teóricos sobre os polímeros utilizados durante o processo de injeção da peça em estudo e abordam-se conceitos teóricos e limitações da simulação numérica. No fim, encontram-se estudos de outros autores que influenciaram o trabalho de investigação aqui apresentado.

3. Metodologia experimental

Todo o procedimento experimental deste trabalho encontra-se explicado neste capítulo. Apresenta-se o projecto, levantam-se os problemas registados e procura-se a sua solução recorrendo a ferramentas computacionais.

4. Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros

Todas as conclusões obtidas com este trabalho são apresentadas neste capítulo. São ainda indicadas linhas de investigação futura relacionadas com este caso de estudo.

1.2 Objectivo

O objectivo deste trabalho surge com a necessidade de investigar e resolver um problema industrial real que surgiu no sector dos moldes portugueses. Através do processo de injeção por sobre-moldação pretende-se revestir um componente em policarbonato com um elastómero (SEBS).

O problema coloca-se porque existem dificuldades na adesão entre os dois polímeros e também porque durante os testes realizados o elastómero apresenta um aspecto exterior muito danificado.

Com este trabalho propõe-se explicar os problemas encontrados a nível industrial e encontrar, se possível, uma solução que viabilize o processo de injeção por sobre-moldação deste produto.

1.3 Introdução

A indústria dos plásticos é actualmente uma das mais prósperas do mundo. O investimento inicial é avultado, no entanto é facilmente recuperável, razão pela qual é uma indústria em expansão e economicamente viável. A moldação por injeção e a extrusão são os métodos predominantes do sector. [1]

O processo de moldação por injeção foi patenteado nos EUA, decorria o ano de 1872, pelos irmãos Hyatt. As suas descobertas foram devidamente acompanhadas por sucessivas evoluções tecnológicas, levando assim ao aparecimento da máquina hidráulica (anos 40), da máquina de parafuso alternativo (1951) e da primeira máquina eléctrica (1988). Na actualidade representa 32% do consumo de plásticos no mundo e a procura por produtos de elevada qualidade e economicamente viáveis faz desta tecnologia um sucesso. Apresenta vantagens em diversas situações mais técnicas, como em casos de elevadas cadências de produção, de grande reprodutibilidade e precisão dimensional, bem como grande flexibilidade geométrica e dimensões das moldações, que vão desde as micromoldações, inferiores a 1 mg, até peças com mais de 100 kg. [1, 2]

No processo de moldação por injeção podem ser utilizados materiais termoplásticos, termoendurecíveis e elastómeros, bem como cerâmicos e metálicos desde que utilizem devidamente um material polimérico como vector. [2]

O caso mais simples de moldação por injeção encontra-se representado na Figura 1 e consiste num bloco, formado essencialmente por duas metades (bucha/cavidade ou macho/fêmea) encaixadas numa máquina de injeção, onde à cavidade não é permitido movimento, enquanto a bucha é encaixada em placas móveis para abertura e fecho do molde. [1]

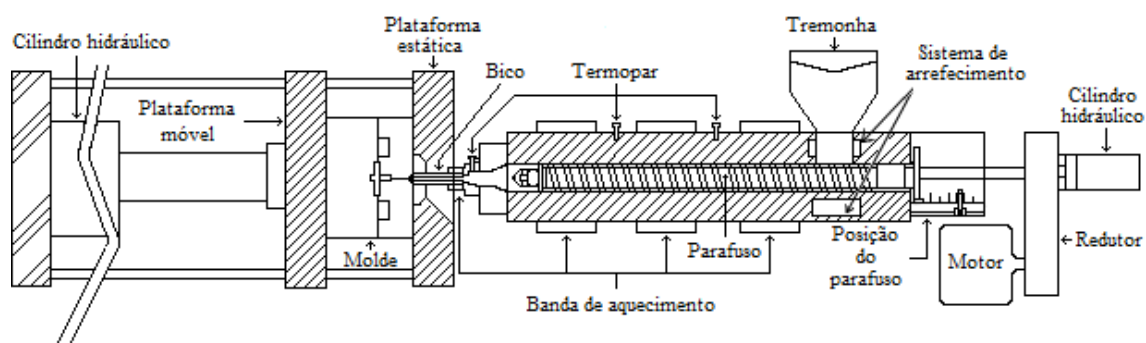


Figura 1: Esquema de uma máquina de injeção. (adaptado de [3])

A moldação por injeção é um processo cíclico, esquematizado na Figura 2, onde a optimização das suas etapas tem um impacto significativo na redução de custos

associados e por conseguinte, aumenta a competitividade económica. Para a indústria, é importante produzir peças de acordo com as exigências do cliente no menor intervalo de tempo. Portanto, é uma mais-valia despendar recursos durante a fase de projecto para optimização dos vários parâmetros do ciclo de moldação, de forma a prever problemas e defeitos, contornando-os *a priori*. [2]

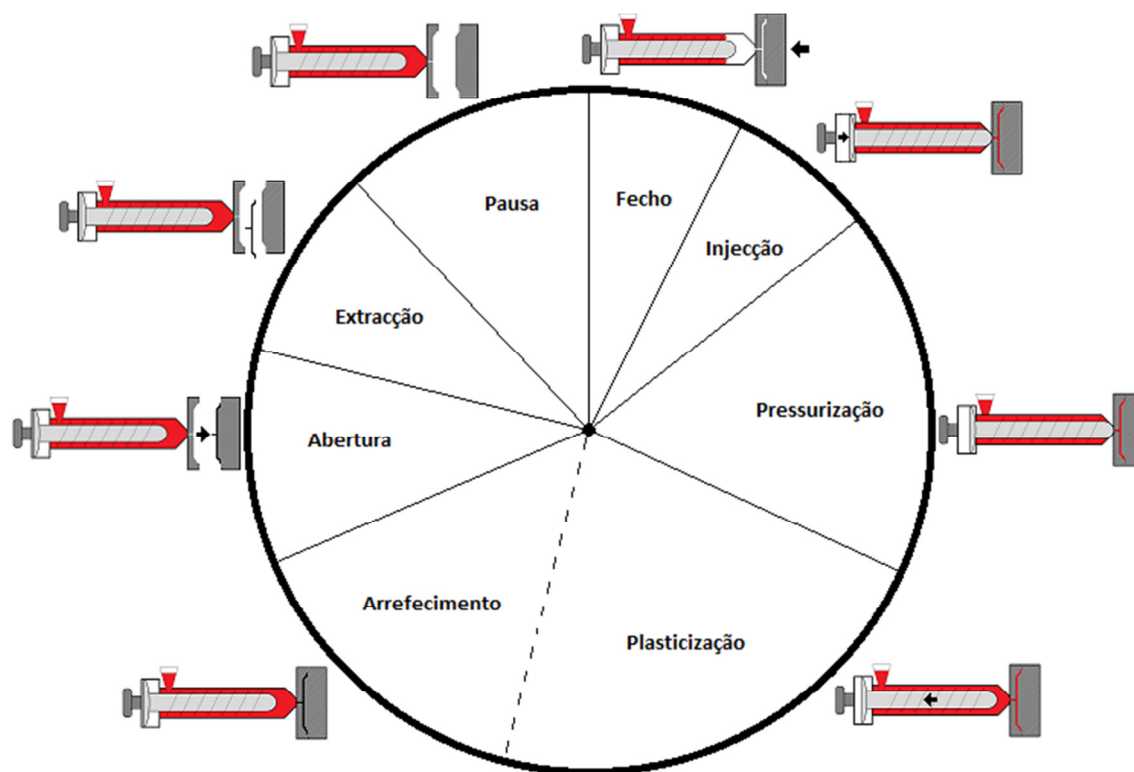


Figura 2: Ciclo de moldação. (adaptado de [2])

A primeira fase do ciclo de moldação corresponde ao fecho do molde. Esta operação deve ser efectuada o mais rápido possível e depende da inércia provocada pelas grandes massas do molde e da necessidade de encostar as duas faces do molde de forma suave, evitando que a zona moldante se danifique. Esta etapa deve consumir o menor tempo possível para que o processo se torne mais económico. A injeção é a fase que se segue e consiste no avanço linear do fuso que ao longo do seu movimento de translação e rotação vai fundindo a matéria-prima e, assim que o bico entra em contacto com o molde, força-a a entrar no molde e a fluir no interior da impressão. A terceira fase é conhecida por pressurização e por segunda pressão. Tal como o nome sugere, sujeita-se a moldação a uma determinada pressão para compensar a contracção volumétrica que o material sofre durante o seu arrefecimento. Após a consolidação do ataque o parafuso inicia novamente o seu movimento de rotação, plasticizando mais matéria-prima. A pressão que se faz sentir na posição onde se encontra obriga o parafuso a recuar até à posição inicial. Esta etapa dá-se durante a fase de arrefecimento, que se inicia assim que a injeção termina e finda quando a peça atinge uma temperatura que permita a sua desmoldação. A fase seguinte é a abertura do molde, seguida da extracção da peça da cavidade através dos extractores. Contudo, a extracção também pode ocorrer com o auxílio de *robots* ou até mesmo pela acção de um operário. Por fim, a fase de pausa

consiste no período de tempo que decorre desde que a peça está pronta a ser removida e o início de um novo ciclo. Para casos em que o processo é automatizado, este tempo de espera é quase nulo, ao passo que numa remoção manual da peça ou em casos onde é necessário colocar insertos, este tempo pode ser longo e significativo. [2]

A injeção por moldação é um processo altamente competitivo e um dos mais apropriados para produzir lotes grandes de componentes plásticos. Os polímeros são materiais de engenharia de grande importância e a sua evolução acompanha de certo modo a evolução da moldação por injeção, pois só havendo novas descobertas na área dos polímeros se ultrapassam as limitações que se encontra na indústria de moldes e vice-versa. Portanto, a exigência no sector tem dado espaço à comunidade científica, que ao longo do tempo tem respondido às necessidades da indústria com a criação de novas matérias-primas, integrando-as na lista de materiais, cada vez mais extensa, com que actualmente se fabricam os mais diversos produtos que invadem o nosso quotidiano. [4]

No momento de escolher o polímero adequado ao componente que se pretende produzir, deve-se analisar cuidadosamente cada uma das suas propriedades mecânicas, garantindo assim que o componente não entra em risco de ruptura enquanto é usado. Alta resistência ao impacto, tenacidade, temperatura, desgaste e resistência química são as propriedades mecânicas mais importantes de analisar em polímeros para aplicações de alta performance. [5]

Os polímeros têm custos relativamente baixos e uma vasta gama de propriedades, algumas das quais são impossíveis de encontrar em materiais de outra natureza. A sua utilização nos projectos de engenharia mecânica segue uma tendência de crescimento, pelo facto de eliminarem partes de peças; operações de acabamento e, em alguns casos, de lubrificação; de reduzirem o peso e o ruído; e também porque a sua montagem é simples. [5]

Genericamente, as grandes indústrias estão associadas ao consumo de plástico de alta performance. Tal pode ser explicado pelo facto de que hoje em dia existem muitas situações onde é recomendável utilizar materiais poliméricos em detrimento dos metálicos. Por exemplo, a indústria automóvel aproveita cada vez mais os recursos dos polímeros. Imaginando um automóvel com cerca de uma tonelada, facilmente se percebe as vantagens monetárias, e não só, por cada quilo metálico substituído por uma matéria-prima de cariz polimérica. Por exemplo, o Cadillac produzido em 1959 continha 11,4 kg de materiais plásticos. Em 1980, a média de utilização de plásticos nos automóveis já era de 90,9 kg por automóvel e em 1993 de 111,4 kg, o que faz desta área um mercado em clara expansão. [4, 5]

Durante a concepção de novos produtos, o fabrico de protótipos é essencial. Recorrendo a tecnologias convencionais, o processo torna-se longo e dispendioso, mas a prototipagem rápida (sistema híbrido) fornece soluções rápidas e baratas. Sucessivas evoluções tecnológicas aumentam a diversidade das aplicações dos sistemas híbridos e actualmente já não se destinam exclusivamente ao fabrico de protótipos.

Outros sistemas híbridos são comumente utilizados, contudo, com objectivos claramente diferentes. Os sistemas híbridos de injeção por moldação surgem perante a necessidade industrial em produzir peças mais específicas. Frequentemente se misturam tecnologias convencionais com tecnologias híbridas. Por exemplo, recorre-se à sobre-moldação para aplicar na mesma peça matérias-primas diferentes. Neste exemplo, normalmente um material metálico, mais caro, dá estabilidade dimensional à peça e o

material polimérico serve de revestimento. A poupança no material metálico reflecte-se significativamente na redução de custos.

As capacidades das ferramentas computacionais são muito populares na indústria dos moldes. Do ponto de vista técnico permitem otimizar os processos de fabrico, prevenindo eventuais falhas que podem suceder durante o processo de moldação por injeção, como por exemplo, o excesso de contracções e deformações ou a optimização de sistemas de arrefecimento. Do ponto de vista financeiro, o facto de as correcções serem feitas de forma virtual permite reduzir os custos significativamente. Com o auxílio do software Autodesk® Moldflow® Insight2010 - daqui em diante designado apenas por Moldflow® - pretende-se simular o processamento de sistemas híbridos.

De forma a cumprir o objectivo apresentado em 1.2, formula-se uma metodologia experimental que permita viabilizar o processo de injeção por sobre-moldação. Em primeiro lugar faz-se a apresentação do projecto e o levantamento de todos os problemas encontrados ao longo das primeiras tentativas de produzir peças. De seguida, parte-se em busca de uma solução para os problemas de adesão entre os polímeros e para os problemas verificados ao longo do ciclo de moldação. Estudam-se soluções de redesign em algumas regiões do modelo e recorrendo a ferramentas computacionais avalia-se o comportamento dos fluidos poliméricos ao longo do processo de injeção por sobre-moldação. Deste modo, é possível encontrar um perfil de injeção que se adeque ao modelo.

Capítulo 2 – Revisão bibliográfica

2.1 Moldação por injeção

2.1.1 Sobre-moldação

O processo de sobre-moldação surge com a necessidade de agrupar num só componente propriedades distintas de diversos materiais. As aplicações desta tecnologia são muito úteis principalmente para o sector automóvel e para a medicina. Quando se projectam vários componentes com o objectivo de formar uma só peça, a combinação de diferentes matérias-primas pode ser vantajosa. Nessas ocasiões, e desde que as propriedades mecânicas satisfaçam as necessidades, deve-se considerar a moldação por injeção em moldes bi-material para moldar peças recorrendo a mais do que uma matéria-prima. Porém, as variações podem ser muito básicas, como uma simples mudança de cor, ou recorrendo a plásticos completamente distintos, sendo por vezes, alguns deles incompatíveis entre si. Esta tecnologia permite reduzir consideravelmente o peso de um automóvel ao substituir parte dos componentes em metal por polímeros. Na área da medicina é possível fabricar instrumentos cirúrgicos mais ergonómicos, revestindo o metal com polímeros macios, normalmente elastómeros, deixando um toque mais suave e menos cansativo para os cirurgiões enfrentarem as longas operações que têm pela frente. [6, 7]

Após uma reflexão sobre os factores económicos, produtivos, tipos de produtos e equipamentos disponíveis, escolhe-se o processo que mais se adequa ao fabrico da peça exigida pelo cliente, que pode passar pela transferência de moldações de uma máquina para a outra, geralmente com auxílio de robots; pela transferência das moldações da 1ª posição de injeção para a 2ª posição, no mesmo molde, novamente recorrendo a robots; por duas unidades de injeção no mesmo molde, enchendo o 2º material assim que o ciclo de injeção do primeiro acaba (Figura 3); ou por rotação incorporada no molde ou no prato da máquina que tem duas, ou mais, unidades de injeção (Figura 4). [2]

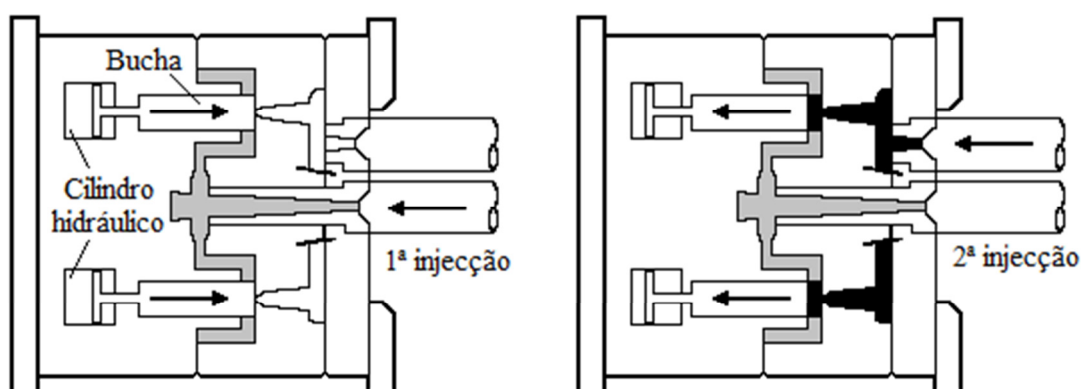


Figura 3: Molde bi-material: duas unidades de injeção. (adaptado de [8])

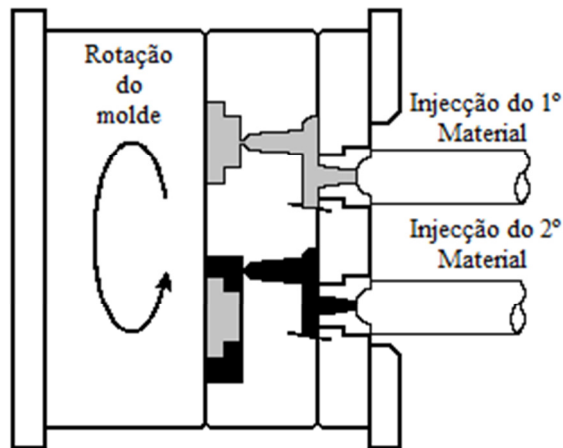


Figura 4: Molde bi-material: rotação. (adaptado de [8])

A liberdade para conjugar diferentes propriedades mecânicas é essencial na concepção de uma peça multifuncional. Normalmente pretende-se aumentar as qualidades de rigidez e elasticidade, traduzindo-se na principal vantagem deste processo. Contudo, requer um investimento muito elevado, cerca de 70-80% superior aos processos convencionais, logo só é viável para lotes de produção elevados. O retorno financeiro é significativo uma vez que os lotes produzidos não necessitam de operações secundárias de maquinagem. A Tabela 1 resume algumas características que se destacam neste processo. [8]

Tabela 1: Vantagens e desvantagens dos moldes bi-material. [8]

Vantagens	Desvantagens
Poupa-se tempo na produção de componentes multifuncionais por sobre-moldação	Custo muito elevado (envolve equipamentos muito mais caros e complexos)
A montagem dos componentes é feita exclusivamente durante o processo de injeção	Os moldes podem conter operações de deslize ou rotação 360°, o que explica o preço
Não há estragos provocados por operações de montagem	As máquinas de injeção standard têm um custo de 70-80% mais baixo
Aumento de performance dos componentes (combinação de propriedades específicas de materiais diferentes)	Os lotes de produção devem ser elevados para rentabilizar o investimento inicial
Não há manuseamento entre processos	As máquinas de injeção standard não estão preparadas para estes moldes
Os lotes ocupam espaço apenas num sector da fábrica (local onde se encontra o molde)	Nem todos os fabricantes de moldes comercializam equipamentos desta natureza
Não há o risco de perder e/ou danificar lotes entre estações de trabalho ou no trânsito	

Actualmente na indústria utiliza-se frequentemente esta tecnologia para produzir estruturas híbridas polímero-metal (PMH). Para além da redução de custos ser significativa, verificam-se outras vantagens no uso destas combinações, uma vez que a injeção por moldação convencional tem um nível de automação e repetibilidade elevado.

Injecta-se o polímero directamente sobre o inserto metálico (ou de outra natureza) previamente colocado no molde de forma manual ou automática, formando uma única peça. Como este processo garante uma elevada adesão entre os materiais, exclui-se qualquer outra operação de junção. No entanto, é preciso ter precaução com alguns factores, prevenindo *a priori* possíveis erros que podem acontecer durante o processamento: deslocamentos dos insertos; variações inesperadas do molde que comprometem a qualidade da peça e aumento do tempo do ciclo de moldação devido à colocação dos insertos. [5]

Este último factor acaba por ser o mais importante e consiste nas contracções do polímero junto ao inserto que originam tensões elevadas e aumenta o risco de ruptura do componente plástico. Normalmente, o coeficiente de expansão térmica linear (CTE) dos plásticos é superior ao dos metais, o que se traduz por um comportamento muito diferente ao nível das contracções em ambas as matérias-primas. As falhas provocadas pelas tensões circunferenciais podem ocorrer em momentos distintos: durante a extracção da peça, enquanto ela está em serviço ou sob carga. A espessura da peça plástica junto ao inserto depende do tipo de plástico em causa e do diâmetro exterior do inserto, bem como do seu material. É recomendável escolher polímeros com elevado grau de cristalinidade em detrimento de polímeros amorfos, mesmo que estes possuam taxas mais baixas de contracção. [5]

O processo de injeção por moldação depende da qualidade da máquina de injeção, do molde e do polímero. Contudo, quando está envolvido um processo de sobre-moldação, a qualidade do componente depende de mais factores. No que diz respeito ao componente plástico, é necessário prever as contracções e os empenos, que acabam por ser tarefas difíceis. O processo envolve interacções plástico-metal não lineares, propriedades da máquina de injeção, características específicas de moldação por injeção e condições de processamento, tais como, taxa de enchimento, injeção, pressão, fusão e temperatura do molde. Deve-se considerar durante a fase de projecto as folgas necessárias para compensar as contracções. Quanto ao inserto metálico, a sua temperatura é a condição de processamento mais crítica. Recomenda-se pré-aquecer o inserto para minimizar as contracções do moldado, expandir o inserto e melhorar a resistência das linhas de soldadura. Consoante o polímero injectado, a temperatura de pré-aquecimento do molde varia. [5]

Alguns programas de simulação numérica, como por exemplo o Moldflow®, permitem calcular as contracções verificadas após a moldação, fazendo a previsão da distribuição de tensões térmicas. [5]

Graças à tecnologia híbrida é possível hoje em dia diminuir custos de produção em vários sectores industriais. Existem imensos exemplos diários onde a tecnologia convencional não é muito prática porque consome demasiados recursos e limita a concepção dos produtos. O futuro passa claramente por encontrar alternativas às tecnologias de produção existentes eliminando etapas desnecessárias, tornando-as mais eficientes e mais fiáveis. Actualmente, a tecnologia híbrida já oferece vantagens em várias aplicações industriais.

2.1.2 Parâmetros da máquina de injeção

- Velocidade de injeção [2]

Este parâmetro corresponde à velocidade de avanço do fuso v (mm.s^{-1}) durante a fase de enchimento da impressão, traduzindo-se no caudal Q ($\text{cm}^3.\text{s}^{-1}$) com que o fluido é injectado.

$$Q = A \times v$$
$$A = \pi r^2$$

Onde A corresponde à área da secção circular do bico de injeção que permite a passagem de fluido da unidade de injeção da máquina para o sistema de alimentação do molde. Através do diâmetro do bico de injeção, obtém-se o raio r .

Velocidades de injeção elevadas traduzem-se na:

- Diminuição da viscosidade do fundido;
 - Minimização das perdas de calor durante o enchimento;
 - Elevada dissipação viscosa durante o escoamento;
 - Defeitos na moldação (se a velocidade for excessiva).
- Perfil de temperaturas no cilindro [2]

A temperatura da matéria-prima ao longo do cilindro de plasticização depende da potência calorífica debitada pelas resistências de aquecimento e do calor gerado por dissipação viscosa, que se forma do atrito proveniente das cadeias moleculares do polímero e do contacto entre o polímero e a parede do parafuso/cilindro.

Para implementar um perfil de temperaturas deve-se ter em conta a matéria-prima a transformar, a geometria do parafuso e o tipo de impressão a encher.

A temperatura seleccionada para o perfil deve ser suficientemente elevada para garantir a fluidez da matéria-prima e ao mesmo tempo suficientemente baixa para não degradar o polímero. Os termoplásticos de engenharia e de elevado desempenho são os mais sensíveis aos fenómenos de degradação termo-oxidativa. Na presença de ciclos de moldação longos ou de máquinas com uma capacidade de injeção muito superior ao volume da moldação a degradação da matéria-prima durante o seu processamento é mais frequente.

Geralmente, as temperaturas de injeção são entre 50 a 100°C superiores à temperatura de transição vítrea dos polímeros amorfos e entre 100 a 150°C superiores à temperatura de fusão dos polímeros semi-cristalinos.

A temperatura de injeção elevada traduz-se num tempo de ciclo e consumo energético maior, bem como na melhoria ao nível da contracção, do brilho e da transparência.

- Temperatura do molde [2]

Este parâmetro é fundamental durante o processo de injeção, visto que determina muitas propriedades da peça moldada durante a fase de arrefecimento. A sua importância na produtividade do processo é muito elevada.

O intervalo de temperaturas depende da natureza do material. Entre 10 e 60°C para termoplásticos de grande consumo, entre 40 e 120°C para termoplásticos de engenharia e entre 100 e 200°C para materiais de elevado desempenho.

Analisando a Figura 5, constata-se facilmente que este parâmetro sofre uma grande variação de temperatura ao longo do ciclo de moldação.

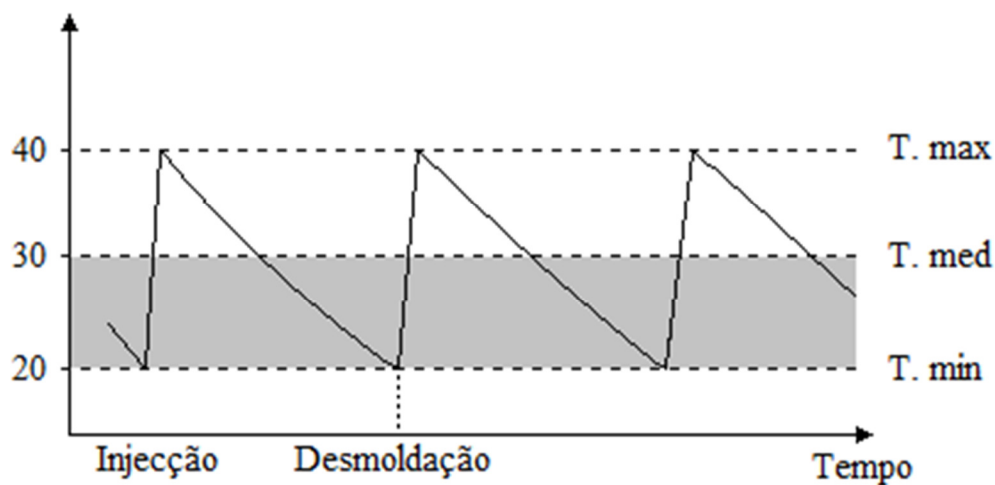


Figura 5: Evolução da temperatura média do molde durante o processo de moldação por injeção. (adaptado de [2])

Existem vários métodos para controlar a temperatura do molde. O mais comum consiste em minimizar a amplitude térmica do molde ao longo do tempo do ciclo de moldação. Outra abordagem passa pelo uso de arrefecimentos pulsados, onde inicialmente a temperatura na superfície moldante é relativamente elevada com o intuito de reduzir o choque térmico entre os materiais, seguindo-se um arrefecimento brusco do molde. Outro método frequentemente utilizado consiste em recorrer a temperaturas diferentes nas duas partes do molde para facilitar a extracção ou garantir a estabilidade dimensional das peças. A Figura 6 demonstra o comportamento da temperatura na interface polímero-molde.

Para temperaturas do molde mais elevadas, o brilho, a transparência e a contracção aumentam. Por outro lado, temperaturas mais baixas provocam o aumento da tensão interna.

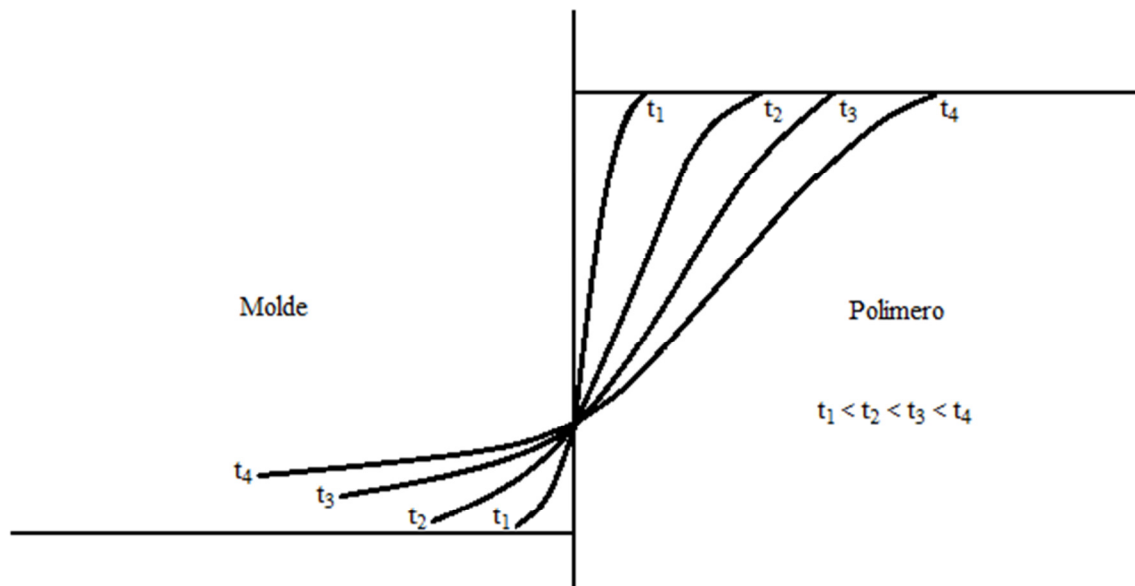


Figura 6: Evolução da temperatura na interface molde-polímero após a injeção do polímero. (adaptado de [2])

- Pressão de injeção [2]

A pressão de injeção corresponde à pressão máxima desenvolvida ao longo da fase de enchimento e resulta do esforço necessário para garantir o enchimento do fluido à velocidade ajustada pelo operador na máquina de injeção.

A pressão de injeção controlada pelo operador denomina-se por pressão de ajuste e é distinta da pressão máxima de injeção. A pressão de ajuste é uma forma de impedir que se verifiquem pressões demasiado elevadas e que colocam em causa o normal funcionamento da máquina de injeção. Ou seja, sempre que a pressão máxima de injeção igualar a pressão de ajuste, o equipamento perde a capacidade de controlar a velocidade de injeção especificada.

A evolução da pressão ao longo do tempo é distinta nas diferentes zonas da máquina de injeção ou superfícies moldantes. No que concerne às máquinas de injeção hidráulicas, a Figura 7 demonstra a evolução da pressão ao longo da fase de enchimento e de pressurização. Para este tipo de máquinas, o operador controla o valor da pressão do óleo, o que não corresponde ao valor da pressão no interior do cilindro de injeção. Geralmente a área do pistão do cilindro é cerca de dez vezes superior à secção transversal do ponteiro do fuso, responsável por exercer a pressão de injeção sobre o fundido. Portanto, a pressão máxima de injeção é dez vezes superior aos parâmetros introduzidos pelo operador na máquina.

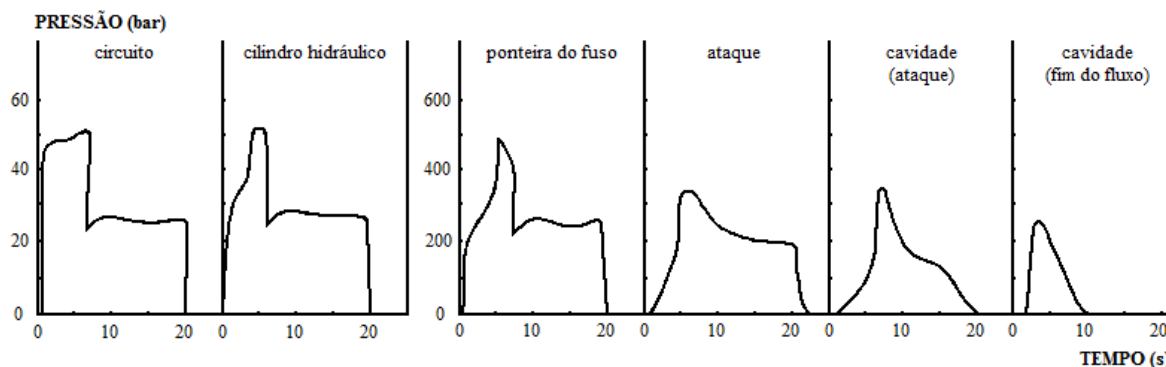


Figura 7: Evolução da pressão para diferentes zonas do sistema hidráulico, unidade de injeção e molde. (adaptado de [2])

- Pressão de manutenção [2]

Este parâmetro consiste na pressão aplicada sobre a moldação durante a fase de pressurização. Após comutação da fase de enchimento para a fase de pressurização, o material sofre uma contracção volumétrica devido ao seu arrefecimento, que tem de ser compensada com alguma matéria-prima extra, sendo adicionada à moldação por pressão. O fuso passa a exercer um esforço pré-especificado sobre o material. Nesta fase não há controlo da velocidade a que o material entra na zona moldante.

- Tempo de manutenção [2]

Esta variável operatória consiste no período de tempo ao longo do qual o fuso exerce a pressão de manutenção, que se deve prolongar até ao momento em que se verifica o arrefecimento do ataque, ou seja, quando o fluxo parar de entrar nos ataques.

- Contra-pressão [2]

A contra-pressão consiste no valor de pressão que o fundido aplica na ponteira do parafuso, de forma a assegurar o seu recuo, isto é, representa um esforço contrário ao recuo do fuso durante a fase de plasticização. Em máquinas hidráulicas, este efeito consegue-se com o estrangulamento da saída do óleo do cilindro de injeção.

Uma contra-pressão elevada traduz-se numa plasticização longa e intensa e em maiores esforços mecânicos sobre o material. Consequentemente, a temperatura do fundido é maior e o próprio fundido torna-se mais homogéneo. Por outro lado, ocorre o aumento significativo da geração de calor por dissipação viscosa, sendo passível de degradar a peça.

- Tempo de arrefecimento [2]

O arrefecimento da moldação começa assim que o polímero contacta com as paredes moldantes. No entanto, só após a fase de pressurização é que se quantifica o tempo de arrefecimento necessário para extrair adequadamente a moldação, que só deve ocorrer a uma temperatura que garanta estabilidade dimensional e que permita suportar os esforços dos extractores.

- Força de fecho [2]

A força de fecho expressa-se geralmente em ton ou kN e corresponde ao esforço que a máquina de injeção deve aplicar no molde para o conseguir manter fechado durante todo o processo. Se a capacidade de fecho da máquina de injeção for superior à força exercida pelo material, o molde abre e ocorre a formação de rebarba na peça.

A força de fecho deve ser entre 10 a 20% superior à força requerida pela moldação, de forma a evitar desperdícios energéticos e possíveis danificações no molde.

2.2 Polímeros

2.2.1 Termoplásticos

Os materiais poliméricos que se encontram na categoria dos termoplásticos adquiriram uma relevância importante para a indústria e encontram-se facilmente as suas aplicações em inúmeros produtos que pertencem ao quotidiano. Caracterizam-se por serem facilmente enformáveis por acção de calor e manter a forma adquirida após o seu arrefecimento. Podem ser reaquecidos e reenformados várias vezes em novas formas sem sacrificar significativamente as suas propriedades mecânicas. O seu processamento é relativamente fácil e rápido, conferindo competitividade a estes produtos e a sua reciclagem é um processo simples. A Tabela 2 apresenta alguns factores que destacam os termoplásticos. [4]

Tabela 2: Principais propriedades dos termoplásticos. [2]

Propriedades	Características
Baixa densidade	Entre 0.9 e 1.4 g.cm ⁻³ para não-reforçados e não-espumados
Tensão de cedência elevada	Entre 10 e 50MPa para materiais não reforçados, triplicando para compostos com fibras curtas, de vidro ou de carbono
Razoável rigidez	Até 3GPa para materiais não reforçados
Resistência ao impacto elevada	Limitada pela natureza química do polímero base
Transparência e brilho	Apenas em alguns materiais
Resistência química e ambiental	Dependente da natureza química do polímero em causa

Grande parte dos termoplásticos é composta por átomos de carbono ligados covalentemente, formando cadeias principais longas. Em alguns casos, encontra-se nestas cadeias átomos de azoto, oxigénio e enxofre ligados covalentemente, bem como átomos ou grupos de átomos pendentos ligados covalentemente aos átomos da cadeia principal, ou seja, grupos substituintes. [4]

Regra geral, os termoplásticos são sintetizados pelo processo de polimerização em cadeia, que consiste em ligações covalentes entre uma grande quantidade de moléculas pequenas, originando cadeias moleculares muito longas. Designam-se por monómeros as moléculas simples ligadas covalentemente e que formam cadeias longas, às quais se chama polímero.

Os monómeros são as unidades moleculares que ao estabelecerem ligações covalentes entre si formam as cadeias poliméricas. Este fenómeno denomina-se por polimerização, que no caso dos termoplásticos é geralmente do tipo polimerização em cadeia. Este tipo de polimerização é caracterizada pela formação de cadeias longas nos instantes iniciais, o número de cadeias aumenta ao longo do tempo sem que ocorra consumo total do monómero. A polimerização em cadeia pode ser do tipo radicalar ou iónica, apresentando três passos: iniciação, propagação e terminação.

No contexto deste trabalho só será abordada a polimerização iónica. A polimerização iónica (catiónica ou aniónica) inicia-se com a activação do iniciador, o qual reage com um monómero formando um centro activo. Este centro activo reage com outros monómeros, dando origem às cadeias poliméricas, na etapa designada por propagação. Finalmente, quando o último monómero da cadeia polimérica reage com o recíproco de outra cadeia ocorre a terminação, por dismutação ou combinação. [4]

A microestrutura (Figura 8) dos polímeros influencia directamente as suas propriedades físicas. Os termoplásticos dividem-se em duas categorias consoante a sua morfologia microestrutural. Os termoplásticos amorfos possuem uma orientação molecular aleatória na fase sólida e líquida, ao passo que os termoplásticos parcialmente cristalinos ou semi-cristalinos têm um comportamento semelhante apenas na fase líquida, divergindo na fase sólida, onde são densamente compactados. [4]

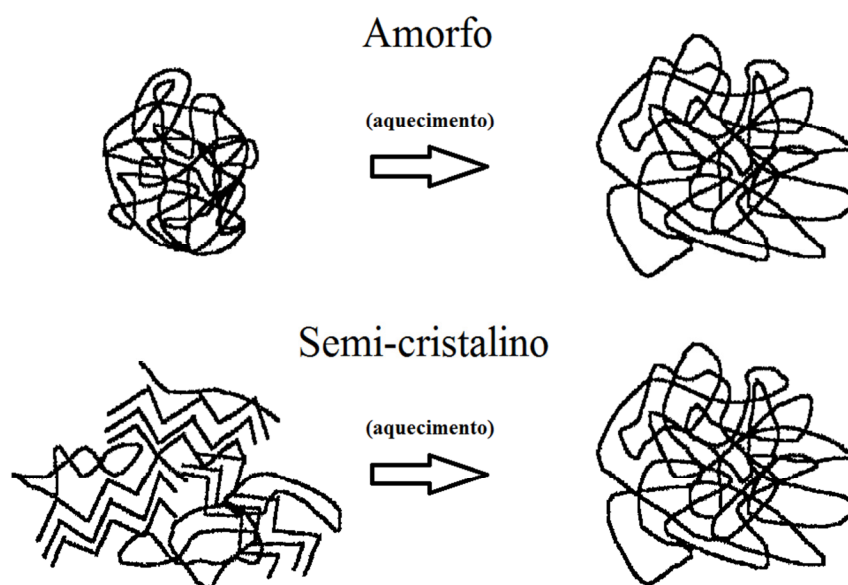


Figura 8: Microestrutura dos termoplásticos. (adaptado de [9])

No processo de solidificação de um termoplástico a partir do estado líquido, tal como acontece na moldação por injeção, forma-se um sólido não cristalino ou um sólido parcialmente cristalino, consoante o material em causa. Durante o processo de solidificação de um polímero amorfo com arrefecimento lento, verifica-se a transformação do líquido em líquido sobre-arrefecido, que se encontra no estado sólido. Analisando a Figura 9, depreende-se que ao longo da linha ABC o volume específico diminui gradualmente à medida que a temperatura também diminui. [3]

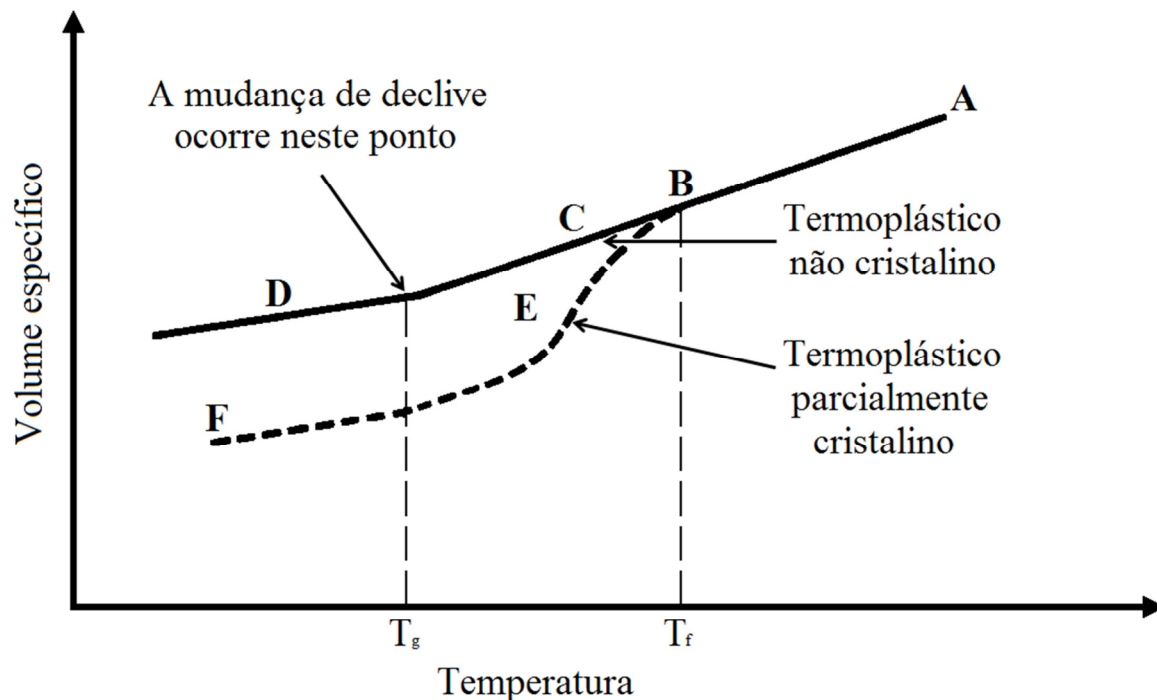


Figura 9: Relação volume específico – temperatura. (adaptado de [4])

Contudo, a temperaturas mais baixas o declive da curva altera-se entre os pontos C e D, como mostra a Figura 9, e ao intervalo médio de temperaturas junto ao ponto onde se verifica alteração do declive chama-se temperatura de transição vítrea (T_g). Até T_g , os termoplásticos amorfos têm um comportamento frágil, semelhante ao do vidro por exemplo, uma vez que o movimento das cadeias moleculares é muito limitado. Contudo, acima de T_g , o seu comportamento já é viscoso, assemelhando-se à borracha. De certa forma, T_g representa uma transição dúctil-frágil. É importante deixar claro que T_g não é uma constante física, como a temperatura de fusão, e depende, até certo ponto, de variáveis como o grau de cristalinidade, peso molecular médio das cadeias poliméricas e velocidade de arrefecimento do termoplástico. A passagem por T_g conduz a alterações significativas das propriedades mecânicas, fruto da alteração da capacidade de deformação do sistema. Quanto mais flexível for a cadeia polimérica, menor será T_g . Os termoplásticos mais flexíveis são aqueles cuja presença de átomos de oxigénio na cadeia principal é maior. Por outro lado, a presença de grupos cíclicos como por exemplo os grupos fenilo ou imidas conferem rigidez à cadeia, aumentando T_g . [2, 4]

Quanto à solidificação de termoplásticos parcialmente cristalinos, sabe-se que o volume específico diminui, de acordo com a linha BE da Figura 9, à medida que o material vai solidificando e arrefecendo até temperaturas mais baixas. Esse fenómeno é

provocado pelo empilhamento mais eficiente das cadeias poliméricas em regiões cristalinas. No ponto E (Figura 9), o material é formado por regiões cristalinas numa matriz não cristalina de líquido sobre-arrefecido (sólido viscoso). A transição vítrea ocorre entre o ponto E e o ponto F. Abaixo de T_g , a matriz de líquido sobre-arrefecido passa ao estado vítreo o que implica que o material no ponto F seja constituído por regiões cristalinas numa matriz vítrea não cristalina. [4]

No que diz respeito ao processamento de plásticos, existem muitas opções para transformar os granulados e peletes de plástico em produtos com diversas formas. Contudo, apenas um dos processos será alvo de estudo: moldação por injeção. [3]

Alguns exemplos de polímeros amorfos e semi-cristalinos mais comuns encontram-se na Tabela 3. Já a Tabela 4 possui informações genéricas sobre ambos.

Tabela 3: Exemplos de polímeros amorfos e polímeros cristalinos [4]

Polímeros amorfos	Polímeros semi-cristalinos
Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS)	Acetais
Polycarbonato (PC)	Poliamidas (Nylon)
Poliestireno (PS)	Polipropileno (PP)
Policloreto de vinilo (PVC)	Polietileno (PE)
Estireno acrilonitrilo(SAN)	Poliesteres termoplásticos (PBT, PET,...)
Acrílicos (PAN, PMMA,...)	

Tabela 4: Propriedades gerais dos polímeros amorfos e dos polímeros cristalinos. [4]

Polímeros amorfos	Polímeros semi-cristalinos
Transparentes	Translúcidos ou opacos
Baixa resistência química	Elevada contracção volumétrica
Baixa contracção volumétrica	Elevada resistência mecânica (geralmente)
Sem temperatura de fusão aparente (amacia ao longo de uma gama de temperaturas)	Temperatura de fusão distinta
Baixa resistência mecânica (geralmente)	

2.2.2 Policarbonato (PC)

O policarbonato (PC) surgiu na indústria em 1956 e a sua expansão ocorreu através de duas empresas, a Bayer e a General Electric Plastics. [2]

O PC pertence à família dos termoplásticos amorfos e do ponto de vista de engenharia é um material que apresenta um desempenho com grande interesse comercial, graças à elevada resistência mecânica, tenacidade e estabilidade dimensional, ou seja, apresenta uma elevada relevância em aplicações de alta performance. Apesar de todas estas qualidades, a sua quota de mercado é pequena. O seu custo limita a utilização em mais produtos. [4]

Na Figura 10 encontra-se esquematizada a unidade estrutural química básica de repetição do PC. Os dois grupos fenilo e os dois grupos metilo, ligados no mesmo átomo de carbono, provocam um bloqueio espacial e conferem rigidez à estrutura molecular. Por outro lado, as ligações simples carbono-oxigénio na ligação carbonato são responsáveis pela flexibilidade total da estrutura molecular, o que se reflecte numa elevada absorção de energia de impacto. [4]

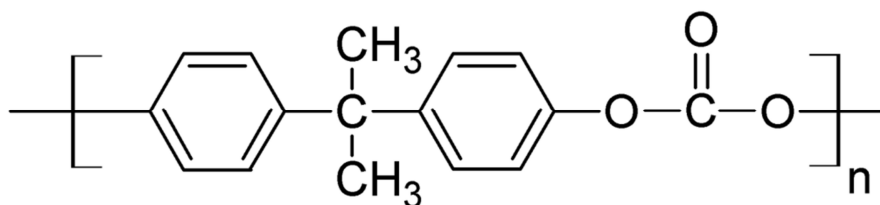


Figura 10: Fórmula química do PC. (adaptado de [4])

A etapa de secagem é muito importante para o processo de moldação por injeção do PC. É essencial que o policarbonato apresente valores de humidade reduzidos. No entanto, tempos de secagem prolongados promovem o amarelecimento do material devido às reacções termo-oxidativas inerentes a este processo. [4]

O policarbonato é um polímero susceptível ao desenvolvimento de tensões internas elevadas devido à rigidez da sua estrutura. Por este motivo, moldações dimensionalmente estáveis conseguem-se elevando a temperatura do molde para valores superiores a 80 °C, ajustando criteriosamente a fase de pressurização para contrariar a degradação do material. [4]

Na Tabela 5 pode-se consultar as características do policarbonato, bem como o tipo de produtos em que geralmente se aplica.

Tabela 5: Características e aplicações do PC. [4]

Características	Aplicações
Elevada resistência à tracção ($\approx 62 - 72$ MPa)	Protecções de segurança (ex: capacetes)
Elevada resistência ao impacto (ensaio de Izod: $640 - 850$ J/m)	Excêntricos e engrenagens
Elevadas temperaturas de deflexão	Coberturas de interruptores eléctricos (relés)
Boas propriedades de isolamento eléctrico e transparência	Indústria automóvel, aeronáutica e náutica
Elevada resistência à fluência	Caixas e lentes de iluminação
Resistente a diversos produtos químicos, mas atacado por solventes	Substituição de vidros em janelas e colectores solares
Elevada estabilidade dimensional, útil em casos de precisão e tolerâncias apertadas	Pequenos electrodomésticos, terminais de computador, aplicações eléctricas

2.2.3 Elastómeros

Os elastómeros são materiais poliméricos que se caracterizam por suportar enormes deformações antes de atingir o ponto de ruptura. A sua forma e as suas dimensões variam bastante, consoante as tensões mecânicas a que o material está sujeito. A grande vantagem é que recupera a sua forma e dimensão inicial quando as tensões deformantes deixem de actuar. [4]

De um modo geral, a borracha natural é o elastómero mais frequente, estando presente nas mais diversas aplicações do quotidiano. É produzida comercialmente a partir do látex da árvore *Hevea brasiliensis*. O látex é um líquido leitoso recolhido das árvores referidas e é encaminhado para um centro de processamento. Nestes centros é diluído até apresentar 15% de borracha e ser coagulado com ácido fórmico. De seguida, comprime-se entre rolos com o intuito de remover a água e de produzir uma folha de material. As folhas seguem para uma etapa de secagem, no final da qual são laminadas entre cilindros, cuja acção mecânica de corte provoca a quebra de algumas cadeias poliméricas longas, diminuindo assim o peso molecular médio. [4]

A vulcanização é o processo químico que permite ligar as moléculas poliméricas entre si formando ligações cruzadas. O resultado das ligações cruzadas são moléculas maiores, o que resulta na diminuição dos seus movimentos. [4]

Contudo, a borracha natural nem sempre satisfaz as necessidades e optar por elastómeros sintetizados artificialmente acaba por ser a solução, o que é possível graças a uma vasta gama de alternativas disponíveis: poliisopreno sintético, borracha de estireno-butadieno (SBR), borrachas de nitrilo, policloropreno, silicones, etc. [4]

Alguns elastómeros, como o poliuretano, têm um comportamento semelhante aos materiais termoplásticos, enquanto outros, como o poliisopreno sintético, assemelham-se aos termoendurecíveis. [10]

As borrachas sintéticas possuem uma longa história e começaram a ser importantes a partir da 2ª Guerra Mundial, devido a uma quebra das reservas de borracha natural. O avanço das pesquisas efectuadas nesta área permitiu o surgimento

das borrachas de estireno – butadieno (SBR) por polimerização em emulsão. O potencial das suas propriedades fez deste copolímero a base da indústria de pneus, entre muitas outras. A emulsão de SBR consiste numa distribuição aleatória dos seus dois monómeros. [11]

Múltiplas combinações de butadieno e estireno foram efectuadas para desenvolver novos copolímeros. Para o efeito, recorre-se a alterações do peso molecular de estireno e/ou butadieno na emulsão SBR e a diferentes temperaturas de polimerização, sistemas de iniciação e técnicas de acabamento. [11]

Actualmente, graças ao desenvolvimento de novos sistemas de polimerização, há cada vez maior controlo sobre os copolímeros ao nível das suas microestruturas, configurações moleculares, diferentes pesos moleculares e combinação de diferentes monómeros. Estas técnicas são aplicadas principalmente nos monómeros de estireno, butadieno e isopreno e dão origem a estruturas selectivas de poliisopreno, polibutadieno e copolímeros aleatórios contendo estireno. [11]

A combinação de múltiplos blocos de poliestireno conectados por segmentos da natureza da borracha é interessante. Os polímeros deste tipo designam-se por elastómeros termoplásticos (TPE) e exibem elevada resistência e características elastoméricas sem o uso de químicos de vulcanização. A sua arquitectura molecular é constituída por um termoplástico duro e por um elastómero macio.

Recorrendo a um exemplo, explica-se facilmente a sua natureza termoplástica considerando uma estrutura S-E-S, onde os blocos de poliestireno (S) estão separados por um segmento elastomérico (E). Se o elastómero for o constituinte principal, o polímero possui uma morfologia semelhante à apresentada na Figura 11, onde os segmentos de poliestireno formam regiões esféricas separadas. A maior parte das moléculas dos copolímeros apresentam os segmentos finais de poliestireno em domínios diferentes. [11]

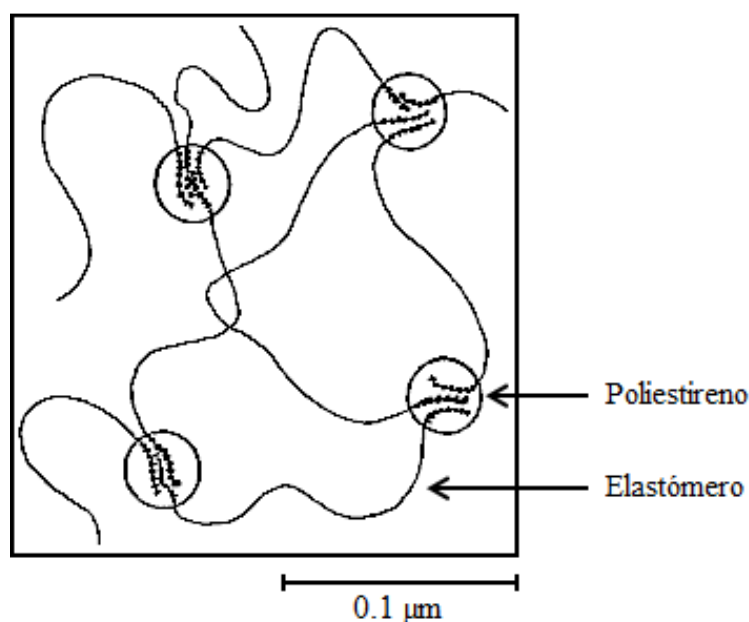


Figura 11: Copolímeros em blocos de estireno: morfologia. (adaptado de [11])

Os TPEs de blocos de estireno representam uma parcela de mercado muito importante actualmente, cerca de 45% do consumo total de TPEs no mundo. Caracterizam-se pelas facilidades de processamento e reciclagem, duas vantagens face aos elastómeros convencionais (vulcanização). Processam-se como termoplásticos a temperaturas elevadas e apresentam propriedades elastoméricas à temperatura ambiente. A estrutura em bloco consiste em cadeias poliméricas de monómeros com o seguinte modelo: A-B-A-B-... [12]

Os TPEs caracterizam-se pela sua dureza e pela sua resistência à abrasão, ao corte, ao desgaste, ao risco e à deformação. O tempo de arrefecimento varia consoante a resina que constitui cada elastómero e os fabricantes recomendam atenção às condições de processamento, comuns a outros processos: temperatura de fusão da resina, propriedades reológicas, design da cavidade do molde, equipamento de injeção, etc.[12]

Os principais mercados dos TPEs de estireno visam a moldação no ramo do calçado; a extrusão de folha/filme e de coberturas de cabo/fio; e o melhoramento dos índices de viscosidade de óleos lubrificantes, modificadores de resinas e asfaltos. Também se encontram em utensílios de cozinha, produtos médicos e produtos de higiene, adesivos e vedantes. [12]

2.2.4 Estireno - etileno - butileno - estireno (SEBS)

Nas aplicações comerciais encontram-se os seguintes copolímeros de estireno em bloco: polibutadieno (SBS), poliisopreno (SIS), poli(etileno-butileno) (SEBS) e poli(etileno-propileno) (SEPS).

Existem apenas três monómeros facilmente polimerizados anionicamente: estireno, butadieno e isopreno. Assim, apenas os copolímeros em bloco SBS e SIS são produzidos em grande escala, facilitando a sua comercialização. Em ambos os casos existe uma ligação dupla por molécula no monómero original do elastómero, como se pode ver na Figura 12. [11]

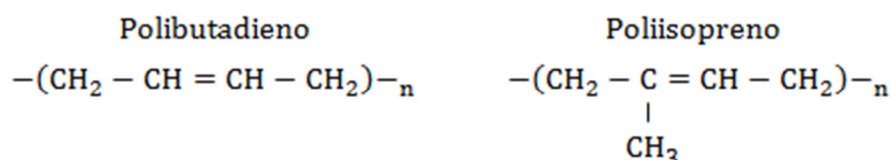


Figura 12: Polibutadieno, Poliisopreno. (adaptado de [11])

Esta ligação dupla é muito reactiva e limita a estabilidade do copolímero. Algumas modificações moleculares permitem a estabilização do SBS. Para o efeito, recorre-se aos segmentos do meio em polibutadieno com isómeros 1,4 e 1,2. Após hidrogenação, obtém-se um elastómero saturado que é equivalente ao copolímero de etileno e butileno (EB), representado na Figura 13. [11]

O SEBS forma-se então a partir do SBS. De forma análoga se pode formar o SEPS recorrendo ao SIS. As propriedades de ambos são similares. [11]

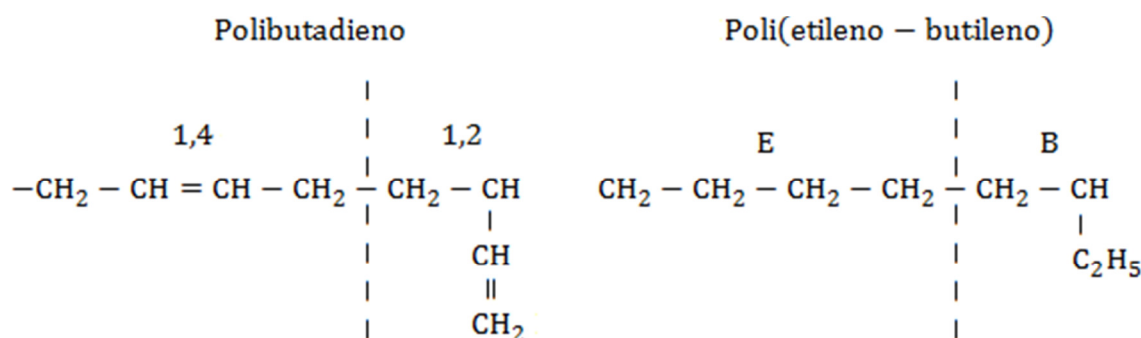


Figura 13: polibutadieno; poli(etileno-butileno). (adaptado de [11])

A Tabela 6 compara propriedades dos diferentes tipos de copolímeros em estudo. A diferença registada na rigidez relativa deve-se aos diferentes graus de emanhamento dos três elastómeros, que é maior para o último grupo: poli(etileno-butileno) e poli(etileno-propileno). Desta forma apresentam uma elevada concentração de ligações cruzadas efectivas por volume, o que se traduz num Módulo de Young elevado. Por razões opostas, o poliisopreno faz do SIS o copolímero mais macio dos quatro presentes na Tabela 6. Este parâmetro permite fazer uma selecção de matéria-prima para um produto. O SBS é uma boa escolha para produtos de baixo custo e onde a estabilidade não é crítica (e.g. indústria do calçado), o SIS é ideal para adesivos pois é mais macio e aderente, enquanto o SEBS e o SEPS são viáveis quando se pretende elevada estabilidade (e.g. indústria automóvel). [11]

Tabela 6: Comparação entre S-B-S, S-I-S, S-EB-S e S-EP-S. [11]

Material	Rigidez relativa	Custo relativo	Estabilidade	Degradação do produto
S-B-S	1	1	Moderado	Ligação cruzada
S-I-S	0.5	1.3	Moderado	Cisão da cadeia
S-EB-S; S-EP-S	2	2 - 2.5	Excelente	Cisão da cadeia

A deformação num copolímero SEBS é menor que num SBS por causa do comprimento do contorno ser também menor. [11]

A rigidez dos blocos de estireno são extremamente dependentes da proporção de poliestireno verificada ao longo da cadeia. Quanto maior a percentagem de estireno, maior será a dureza.

O fluido dos copolímeros SB e SBS é conhecido pelo seu elevado grau de viscosidade. As suas cadeias poliméricas são muito persistentes e o efeito da temperatura é mais significativo em presença de taxas de corte baixas. Aconselha-se processar estes elastómeros recorrendo ao valor mais elevado do intervalo de temperaturas. [11]

2.2.5 Viscoelasticidade

A maioria dos materiais tem um comportamento elástico quando sujeitos a tensões pequenas. A característica principal que define esta fase é a reversibilidade do processo. Se uma tensão deforma o material durante o período elástico, este volta à sua forma original assim que a tensão for nula. Contudo, se a tensão for muito elevada, o comportamento do material deixa de ser elástico. A tensão de cedência representa o valor de tensão aplicada ao corpo, onde a partir daquele limite o material passa do domínio elástico para o domínio plástico. Deste modo, verificar-se-á uma deformação permanente no material, pois trata-se de uma deformação irreversível. [13]

A maioria dos materiais de engenharia, tais como polímeros e metais a elevadas temperaturas, fluem quando sujeitos a uma tracção ou deformação. Este fluxo é acompanhado por uma dissipação de energia. Os materiais deste género têm uma resposta viscoelástica. Tal como o nome sugere, exibem um comportamento quer elástico, quer viscoso.

A Figura 14 ilustra as diferenças que ocorrem na deformação durante a fase elástica, viscosa e viscoelástica, considerando a actuação de uma tensão constante de magnitude unitária. A tensão aplica-se no instante inicial $t = 0$ e mantém-se constante até t_1 - Figura 14 a). A curva deformação-tempo para o caso elástico - exemplo b) da Figura 14, tem exactamente o mesmo comportamento que a curva tensão-tempo: constante sob carga, nula sem carga. Para um fluido viscoso - Figura 14 c), o fluxo de material move-se a uma taxa constante e a deformação é proporcional ao tempo. No caso de um fluido viscoelástico, existe um aumento relativamente rápido da deformação para pequenos valores de tempo imediatamente depois da aplicação da carga. À medida que o tempo aumenta, o declive da curva diminui significativamente. Se $t \rightarrow \infty$, o declive aproxima-se de zero. [14]

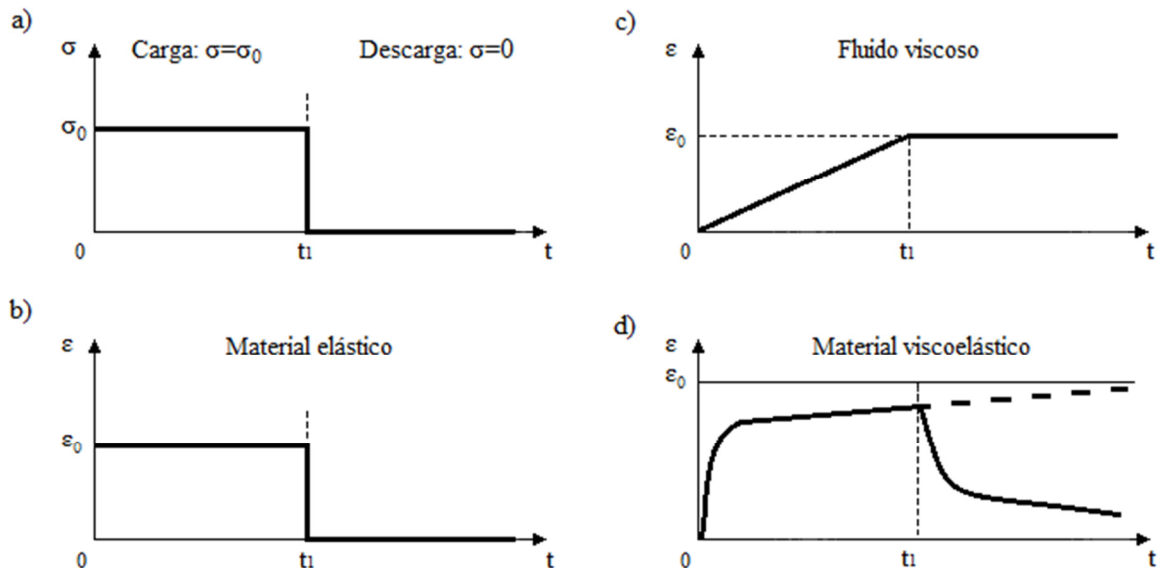


Figura 14: Comparação entre a deformação num material elástico (b), num fluido viscoso (c) e num material viscoelástico (d) ao longo da actuação de uma tensão constante até ao momento t_1 (a). (adaptado de [14])

Após a remoção da carga no instante t_1 , verifica-se como se procede a recuperação da deformação nos três casos em análise. O sólido perfeitamente elástico recupera instantaneamente - Figura 14 b), ao passo que o fluido viscoso não - Figura 14 c). A curva viscoelástica - Figura 14 d), é mais complexa porque engloba propriedades de três processos distintos. A elasticidade instantânea permite-lhe uma recuperação imediata, enquanto o efeito elástico retardado traduz-se numa recuperação gradual. No entanto, a deformação inerente às suas propriedades viscosas mantém-se. [14]

2.2.6 Comportamento de polímeros fundidos

No processo de moldação por injeção os polímeros fundidos são materiais viscoelásticos, o que se traduz num comportamento complexo do ponto de vista reológico. [2]

Os fluidos Newtonianos caracterizam-se por uma relação linear entre a taxa de corte ($\dot{\gamma} = dv/dr$) e a tensão de corte (τ):

$$\tau = \mu \dot{\gamma}$$

O coeficiente de viscosidade (μ) é uma constante conhecida e é significativamente dependente da temperatura. [2]

Os fluidos não-Newtonianos são aqueles que não se descrevem pela equação anterior e o seu comportamento encontra-se representado na Figura 15. Nos fluidos viscoelásticos, o valor da viscosidade depende do tempo sob carga e da taxa de corte a que estão sujeitos. [2]

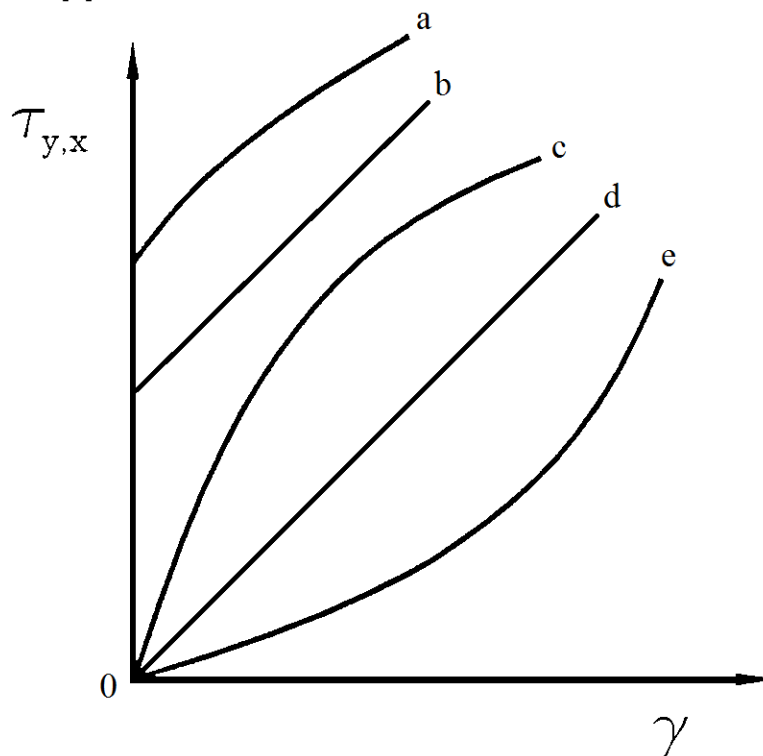


Figura 15: Curva tensão de corte - taxa de corte que define o comportamento de diferentes fluidos: a) Hershel-Buckley, b) Bingham, c) Pseudoplásticos ou Reofluidificantes, d) Newtonianos, e) Dilatantes ou Reospessantes. (adaptado de [15])

A grande maioria dos fluidos não-Newtonianos apresenta um comportamento reofluidificante e caracteriza-se por um decréscimo da viscosidade à medida que a taxa de corte aumenta. A temperatura é um factor muito significativo para a viscosidade dos materiais, uma vez que afecta a variação do volume livre intermolecular. Deste modo, um material é mais ou menos viscoso, consoante o volume livre existente. Como demonstra a Figura 16, é para o intervalo de temperaturas superior que o fluido se torna menos viscoso.

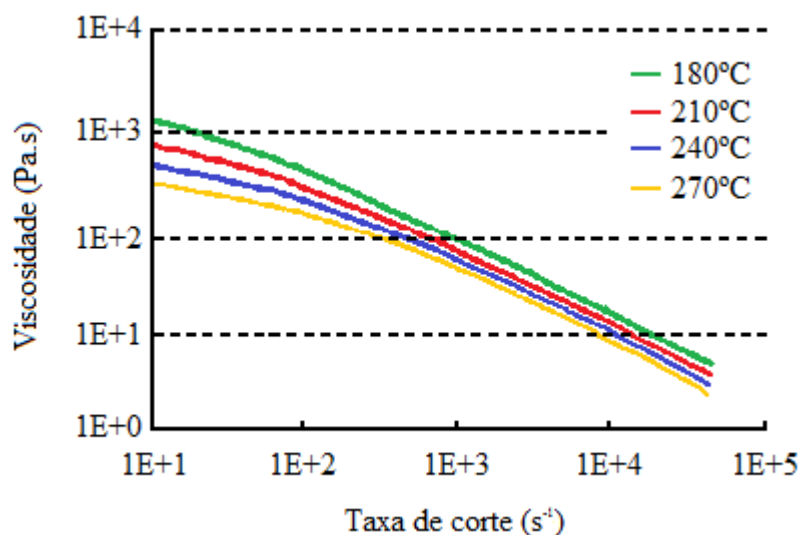


Figura 16: Curva viscosidade - taxa de corte em função da temperatura do termoplástico. (adaptado de [2])

Geralmente utilizam-se métodos de processamento de termoplásticos associados a velocidades de corte entre os 100 s^{-1} e os $100\,000 \text{ s}^{-1}$. É inteligente aproveitar as propriedades dos fluidos reofluidificantes durante o processamento de termoplásticos, ou seja, recorrendo a velocidades de corte elevadas diminui-se consideravelmente a viscosidade e, conseqüentemente, grandes comprimentos de fluxo. [2]

O modelo matemático da Lei de Potência utiliza-se bastante para descrever o comportamento dos fluidos reofluidificantes e tem a seguinte expressão: [2]

$$\tau = k \gamma^n$$

Onde k representa o factor de consistência e n é o índice da lei de potência, compreendido entre: $0 < n < 1$. Esta expressão pode ser escrita em função da viscosidade, aplicando a lei de Newton da viscosidade: [2]

$$\mu = k \gamma^{n-1}$$

Para além de descrever os fluidos reofluidificantes para $n < 1$, este modelo também pode descrever os fluidos reoesspessantes, assumindo $n > 1$. Para $n = 1$, a equação reduz-se à Lei de Newton para fluidos Newtonianos. [2]

No entanto, também há modelos matemáticos que assumem a dependência da temperatura: [2]

$$\mu = A\gamma^B e^{CT}$$

Onde A, B e C são constantes reológicas do material: [2]

$$B = n - 1$$

$$k = Ae^{CT}$$

A Figura 17 compara os perfis de velocidade entre fluidos Newtonianos e Reofluidificantes ao longo de uma estrutura do tipo capilar. Estes últimos apresentam um fluxo com elevadas taxas de corte na zona de contacto entre o fluido e a parede do capilar, enquanto existe um núcleo central de fluido onde o corte é muito pequeno. Por esta razão e pela elevada viscosidade do fluido, as camadas de polímero fundido junto à parede aquecem, ao passo que o fluxo no núcleo central é isotérmico. Assim, a elevadas taxas de corte onde quer a temperatura quer a taxa de corte são elevadas junto à parede do capilar, a camada de polímero fundido que se acumula junto à parede do capilar actua aproximadamente como um lubrificante. [16]

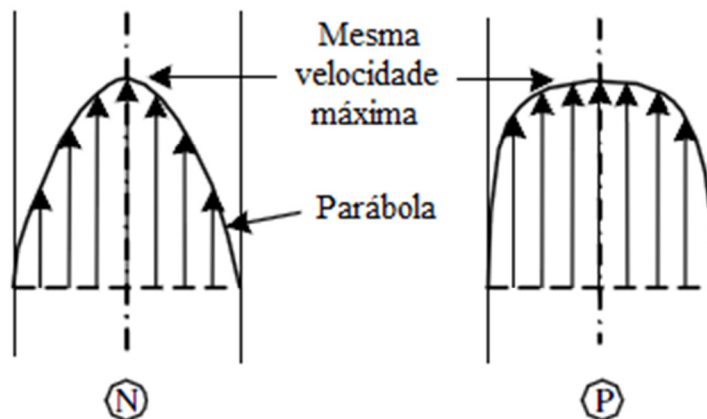


Figura 17: Perfis de velocidade de fluidos Newtonianos (N) e Reofluidificantes (P).
(adaptado de [16])

2.2.7 Comportamento dos polímeros durante a moldação

Ao projectar um produto pretende-se sempre as melhores propriedades térmicas e mecânicas possíveis para não exceder os seus limites aquando do seu funcionamento. A falha de um produto pode colocar em causa a integridade física de um indivíduo. Para o processo de moldação por injeção, os materiais amorfos apresentam, geralmente, a vantagem de possuírem melhor resistência do fundido e um intervalo de temperaturas para o ponto de fusão (*melt range*) mais vasto que polímeros de cristalinidade elevada.[8]

Comparando as propriedades dos materiais amorfos, o PC apresenta um intervalo de temperaturas curto, no que diz respeito ao ponto de fusão. Aconselha-se a sua secagem e o aquecimento do molde a priori para obter produtos significativamente mais estáveis. Graças à elevada Tg, as peças produzidas em PC podem ser desmoldadas a temperaturas significativamente superiores, uma vez que o intervalo de arrefecimento é menor. Deste modo, os ciclos são mais rápidos. A boa tenacidade é uma propriedade interessante, contudo dificulta acções de corte e moagem inerentes ao processo de reciclagem.

A melhor forma de trabalhar passa pela prevenção e antecipação das dificuldades. Por exemplo, durante a moldação por injeção recomenda-se estudar as condições de processamento, seleccionando as matérias-primas de acordo com as exigências do ciclo. [8]

Quando se recorre à sobre-moldação, aconselha-se um estudo ainda mais exaustivo devido à inerente adesão entre polímeros. É necessário confirmar a capacidade de adesão entre eles, a área entre as superfícies de contacto e comparar pontos de fusão e temperaturas de processamento. A sequência de moldação e a automatização do processo também influencia a adesão entre polímeros. A optimização de todos os parâmetros é o factor-chave.

A adesão dá-se por acção da difusão térmica de um material no outro. A profundidade de penetração é pequena e depende da temperatura, pelo que se deve avaliar o resultado da adesão entre componentes pelo desempenho ao longo do seu funcionamento, à semelhança do que acontece com um protótipo. Quanto mais próxima for a temperatura do fluido com a temperatura de fusão do sólido, maior será a profundidade da penetração. Por outro lado, a energia necessária para separar os dois polímeros depende do tempo, da temperatura, da pressão e do peso molecular. [8, 17]

É difícil obter adesão entre materiais cristalinos e amorfos. Exemplos de combinações de materiais são derivados de acrílico, policarbonato e ABS utilizado nos piscas de um automóvel.

Os TPEs de uretano aderem ao ABS ou PC, mas não ao PE ou PP. Muitos fabricantes de matérias-primas desenvolvem materiais por encomenda com as propriedades de adesão significativamente melhoradas. [8]

2.2.7.1 Contração de termoplásticos

No processo de moldação por injeção verificam-se sempre algumas diferenças entre as dimensões das peças injectadas e as dimensões do molde. Esta variação do ponto de vista dimensional depende essencialmente da contração e do empeno. [2]

A contração dos termoplásticos surge durante as fases de injeção, pressurização e arrefecimento graças à expansão e à contração térmica do material. Factores como as características da matéria-prima, geometria do molde e da peça e condições de processamento são responsáveis por induzirem alterações no volume específico, afectando assim as contrações do material. [2]

- Matéria-prima: [2]

Na moldação por injeção, as matérias-primas passam por um ciclo termodinâmico (aquecimento seguido de arrefecimento). O seu processamento ocorre acima da temperatura de fusão ou da temperatura de transição vítrea, consoante a natureza semi-cristalina ou amorfa dos materiais, respectivamente. Deste modo, garante-se que o polímero em processamento exhibe uma viscosidade adequada durante a fase de injeção. Durante a fase de arrefecimento ocorre o aumento da densidade do material, ao qual se associa uma diminuição do volume específico.

Existe uma relação de dependência entre o volume específico, pressão e temperatura, comumente traduzida em diagramas PVT (Figura 18 e Figura 19).

À medida que a temperatura diminui, verifica-se um decréscimo do volume específico, bem mais saliente para os polímeros semi-cristalinos devido ao processo de cristalização que os caracteriza ao longo da fase de arrefecimento. Portanto, para compensar a diminuição do volume específico durante a fase de arrefecimento, afecta-se as zonas moldantes com o factor de contracção.

A contracção também depende da orientação do fluxo.

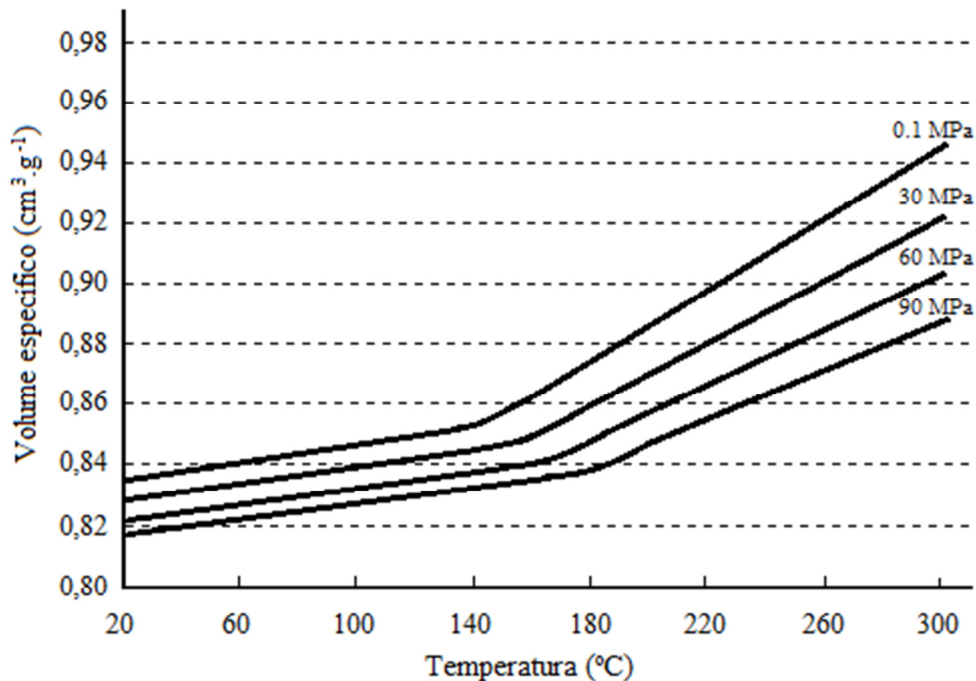


Figura 18: Diagrama PVT de um polímero amorfo. (adaptado de [2])

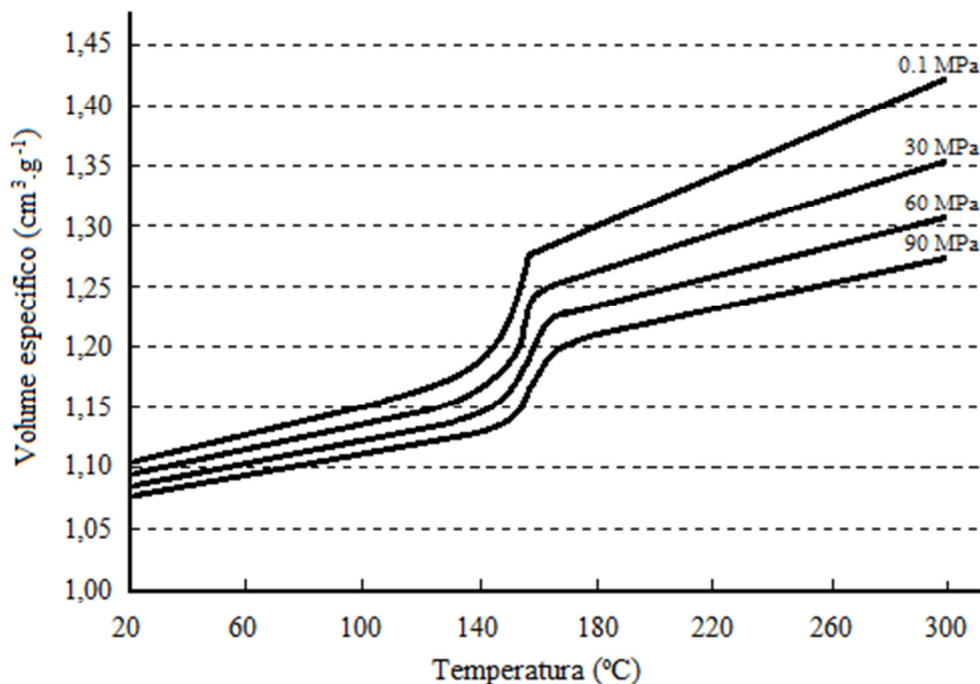


Figura 19: Diagrama PVT de um polímero semi-cristalino. (adaptado de [2])

- Geometria da peça: [2]

A contracção não é uniforme ao longo do caminho de fluxo. Na direcção do fluxo e na direcção transversal ao fluxo o constrangimento mecânico do molde à contracção é mais significativo. Contudo, a maior contracção verifica-se ao longo da espessura da peça, devido ao menor constrangimento do molde nesta direcção. A solidificação do material acontece da periferia para o interior do molde, originando uma obstrução mecânica adicional à contracção do núcleo pela casca solidificada, nas direcções do fluxo e transversal ao fluxo. Estas obstruções traduzem-se em tensões residuais que podem limitar o desempenho mecânico das peças injectadas, principalmente em ambientes com temperaturas elevadas. A ocorrência de relaxação de tensões pode significar pós-contracção ou empeno (incumprimento de tolerâncias dimensionais). A Figura 20 representa através de um esquema a contracção da peça.

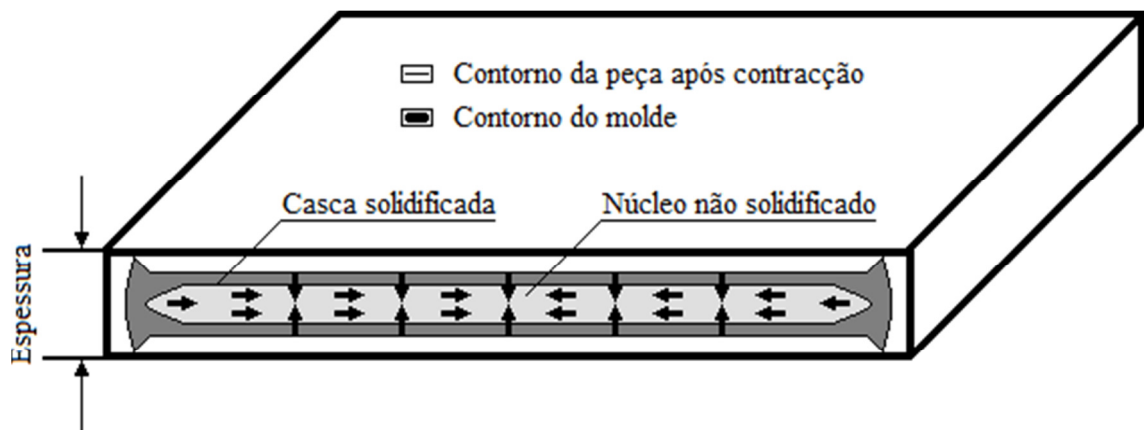


Figura 20: Obstrução mecânica interna verificada na peça devido à solidificação da casca.
(adaptado de [2])

Perante casos de peças com espessura elevada, a difusão de calor do núcleo para as paredes do molde consome mais tempo. Nestas situações, a contracção é maior e nota-se mais facilmente em termoplásticos semi-cristalinos, tal como se pode verificar através de uma análise à Figura 21.

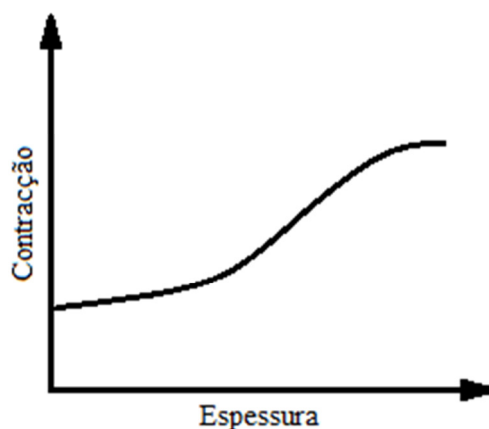


Figura 21: Relação entre a contracção e a espessura em materiais semi-cristalinos.
(adaptado de [2])

- Condições de processamento: [2]

Os factores temperatura, pressão e tempo estão na origem dos desvios dimensionais mais significativos. O seu efeito verifica-se na actuação dos seguintes parâmetros: temperatura do molde, temperatura do fundido, pressão e tempo de pressurização e tempo de arrefecimento.

O objectivo da fase de pressurização passa por compensar a contracção injectando material no molde. Surte mais efeito a pressões mais elevadas, tal como se pode observar na Figura 22 – a). Pressões mais baixas traduzem-no no aumento do peso da peça e a contracção torna-se mais sensível a flutuações nas condições do processo. Contudo, pressões excessivas provocam tensões residuais também excessivas, prisão do jito e mais consumo de energia. No que concerne ao tempo de manutenção, representado na Figura 22 – b), a contracção diminui para tempos mais longos.

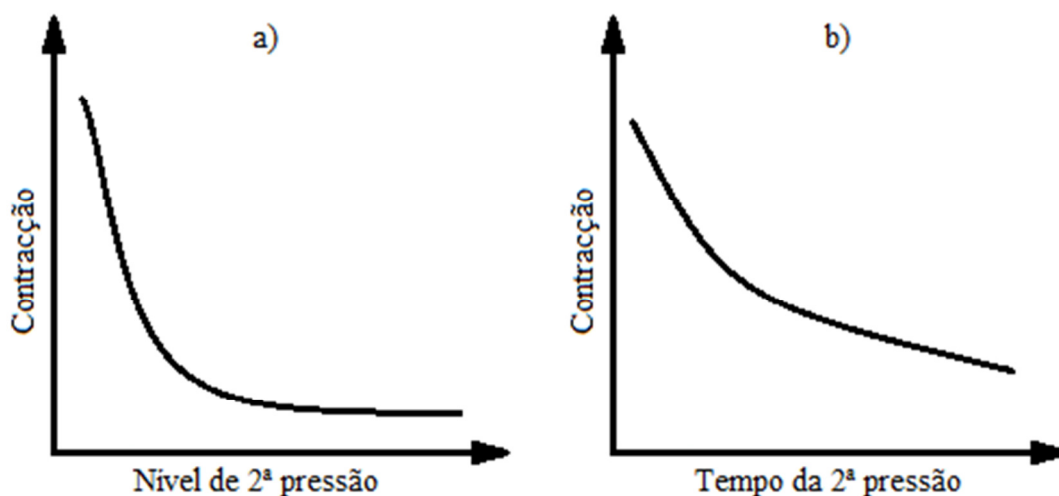


Figura 22: Influência da fase de pressurização na contracção: a) pressão; b) tempo. (adaptado de [2])

Observando a Figura 23, facilmente se compreende que a contracção aumenta à medida que a temperatura do molde também aumenta. Esta temperatura relaciona-se com a velocidade de arrefecimento ao longo da espessura, a consequente distribuição de tensões residuais e o perfil de pressões dentro da cavidade. Em polímeros amorfos este efeito é reduzido, enquanto nos semi-cristalinos é mais evidente.

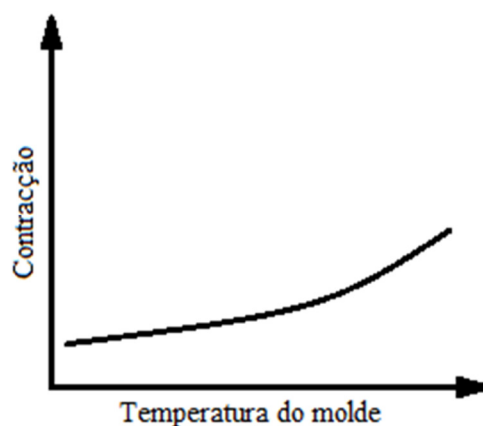


Figura 23: Relação entre a contracção e a temperatura do molde. (adaptado de [2])

Quanto à temperatura de injeção, existem dois efeitos opostos proporcionados por este parâmetro. Temperaturas elevadas correspondem por um lado ao aumento do volume específico (curva a tracejado, Figura 24) e por outro, à diminuição da viscosidade do material, aumentando a eficiência da compactação (curva a cheio, Figura 24).

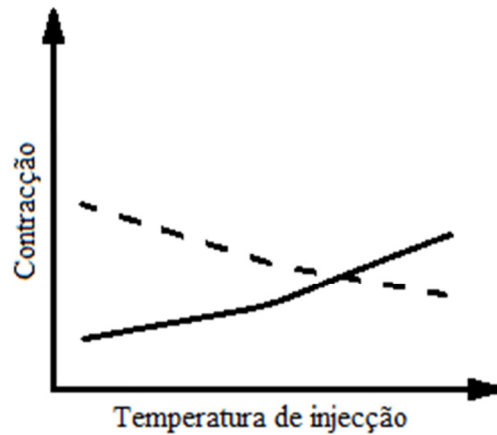


Figura 24: Relação entre a contração e a temperatura de injeção. (adaptado de [2])

Por fim, quanto maior for a temperatura de desmoldação, maior será a contração verificada na peça (Figura 25). Para tempos de arrefecimento mais baixos, o efeito do constrangimento mecânico na contração diminui.

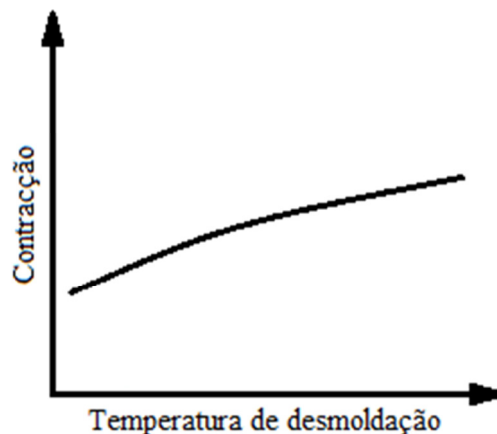


Figura 25: Relação entre a contração e a temperatura de desmoldação. (adaptado de [2])

2.3 Conceitos teóricos sobre simulação numérica

Neste tópico pretende-se conhecer os pontos-chave do processo de injeção por moldação do ponto de vista da simulação numérica. O Moldflow® é um software comercial de simulação numérica que permite estudar esse processo com grande detalhe e a grande vantagem em relação a outras ferramentas computacionais de simulação numérica é a capacidade de validação e/ou optimização de modelos digitais de peças plásticas. Por conseguinte, é um programa muito popular na indústria de moldes, pois permite às empresas que trabalham neste sector minimizar os custos de produção.

Recorrendo às suas ferramentas, analisar-se-á a produção de uma peça da indústria de moldes portuguesa, gentilmente cedida pela empresa Prifer Moldes. Contudo, o Moldflow® também possui algumas limitações que serão enunciadas mais adiante.

No processo de injeção por moldação é importante verificar-se um padrão de enchimento com orientação unidireccional. Deve-se evitar que o fluxo de matéria-prima flua em sentido contrário à direcção de enchimento. A posição dos ataques é essencial para que esta situação não se verifique. A Figura 26 representa esquematicamente o fluxo durante o período de enchimento. [18]

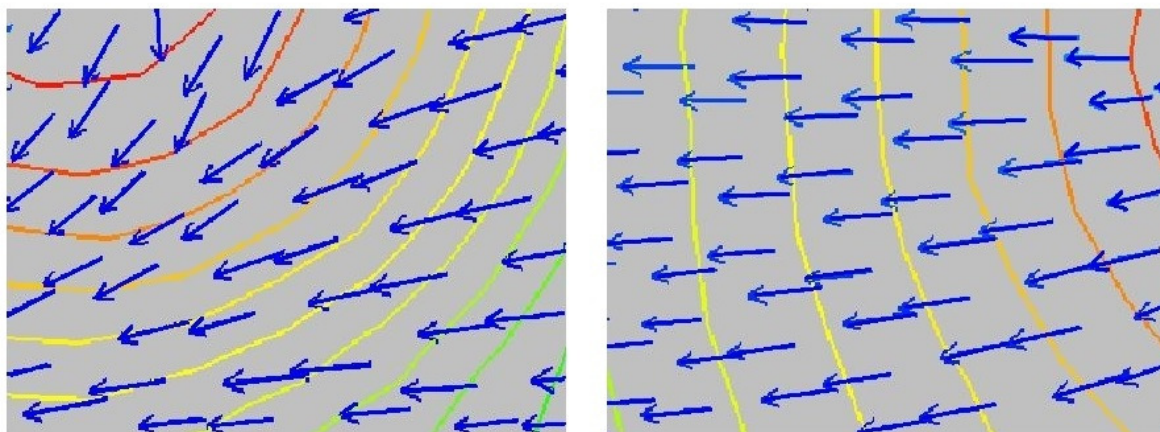


Figura 26: Fluxo multidireccional (à esquerda) e fluxo unidireccional (à direita). (adaptado de [18])

Ao longo da fase de arrefecimento, é essencial que a temperatura do molde à superfície seja uniforme nos dois lados da peça. Quando não se verifica esta premissa, as moléculas do lado mais quente têm um tempo de arrefecimento maior, logo contraem mais, o que as torna mais pequenas. Deste modo, a peça encurva em torno do lado quente, tal como o exemplo da Figura 27 sugere. [18]



Figura 27: Comparação entre um padrão de arrefecimento uniforme, à esquerda, e um padrão de arrefecimento não uniforme, à direita. (adaptado de [18])

Durante a injeção de um plástico, num molde, o fluido que atravessa os canais de enchimento deve entrar em todos os ataques exactamente ao mesmo tempo e à mesma pressão. No que diz respeito à peça, o enchimento nas suas extremidades deve acontecer também ele ao mesmo tempo.

Na Figura 28 – a) encontra-se o testemunho de um sistema de alimentação que respeita as normas anteriores. Quanto à Figura 28 – b), trata-se de um modelo a evitar porque o fluxo de injeção nos ataques mais afastados do gito é muito superior ao fluxo que se verifica nos ataques mais próximos. Neste exemplo o balanceamento não se verifica. [18]

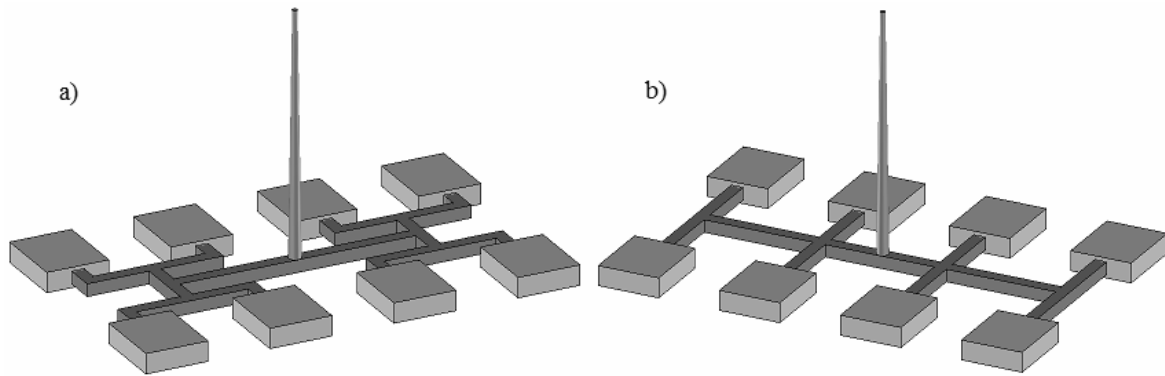


Figura 28: Sistemas de alimentação: a) naturalmente balanceado; b) sem balanceamento. (adaptado de [18])

No entanto, com uma simples alteração geométrica é possível balancear um sistema de injeção com base no exemplo b) da Figura 28, bastando para isso variar o tamanho dos canais. Designam-se por sistemas artificialmente balanceados os modelos deste género.

Os limites da tensão de corte encontram-se definidos na base de dados do Moldflow® para cada matéria-prima e representam 1% da tensão de cedência do material, sendo específicos para cada aplicação. Para componentes destinados a ambientes rigorosos, tais como temperaturas elevadas, exposições a ataques químicos ou a tensões elevadas durante o funcionamento, porventura 1% será um valor baixo. Por outro lado, em condições de utilização mais suaves, 1% é um valor muito rigoroso. Comummente verificam-se tensões de corte entre duas a cinco vezes superiores ao limite de 1% em ambientes aprazíveis. [18]

As linhas de soldadura formam-se quando duas frentes do fluido se encontram ao deslocarem-se em sentidos opostos, Figura 29, ao passo que as linhas de fundido formam-se sempre que duas frentes do fluido se encontram ao moverem-se no mesmo sentido, Figura 30.

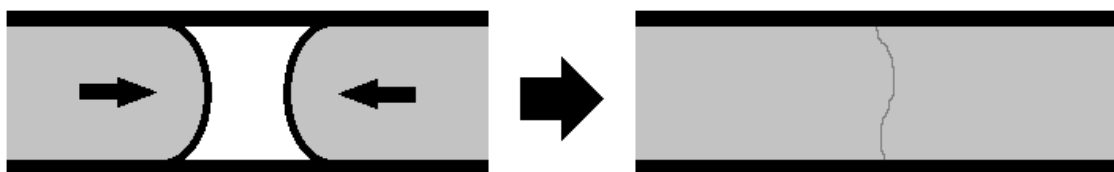


Figura 29: Esquema: formação de linhas de soldadura. (adaptado de [18])

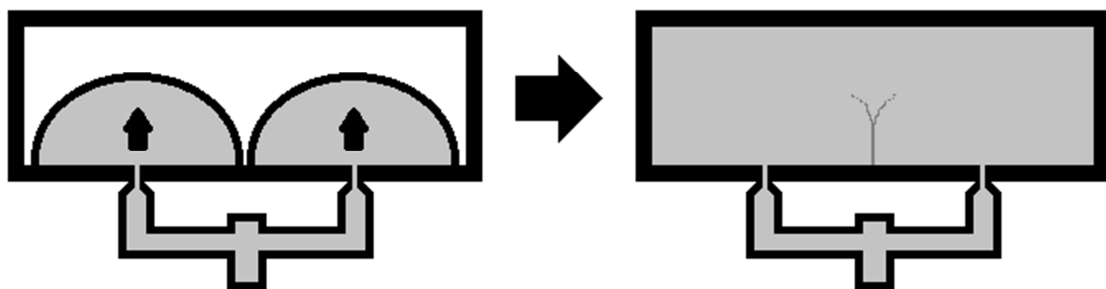


Figura 30: Esquema: formação de linhas de fundido. (adaptado de [18])

Cada ataque forma uma linha de soldadura ou de fundido, logo deve existir apenas aqueles que são estritamente necessários. Deve-se evitar a sua colocação em locais críticos, com ênfase na aparência e robustez, consoante o objectivo a que a peça se destina. A resistência destas linhas são geralmente melhores quando formadas a temperaturas mais elevadas. [18]

O fenómeno da hesitação deve ser evitado ao máximo e consiste no decréscimo, não intencional, da velocidade da frente do fluido. Por vezes, o fluxo desacelera em demasia, o que significa que a matéria-prima está muito fria e começa a solidificar. Esta situação ocorre com frequência quando a espessura da peça varia, como por exemplo na presença de uma nervura muito mais fina que a parede nominal da peça. Para contornar este fenómeno pode-se diminuir o tempo de injeção e/ou modificar a localização dos ataques (Figura 31). [18]

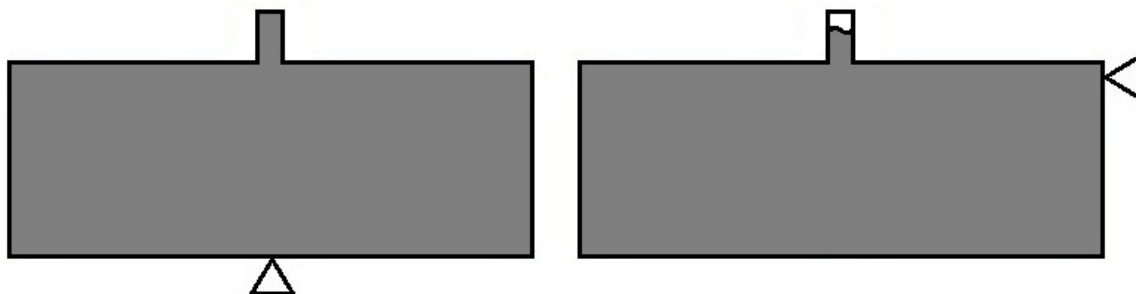


Figura 31: Hesitação. (adaptado de [18])

Outro problema muito usual consiste nas mudanças de direcção da frente do fluido, devido ao facto de estar mal balanceada em relação aos ataques. As linhas de contorno devem ser perpendiculares à direcção da velocidade e, quando se tornam paralelas, formam o fenómeno designado por *underflow*, Figura 32. Inicialmente as moléculas possuem a mesma orientação que a direcção da frente do fluido. Se porventura essa frente mudar de direcção, as moléculas mais próximas do centro do canal do fluido passam a orientar-se pela nova direcção. As moléculas têm tendência para contrair na direcção de orientação, e portanto nos locais onde existe *underflow*, as tensões internas aumentam significativamente. [18]

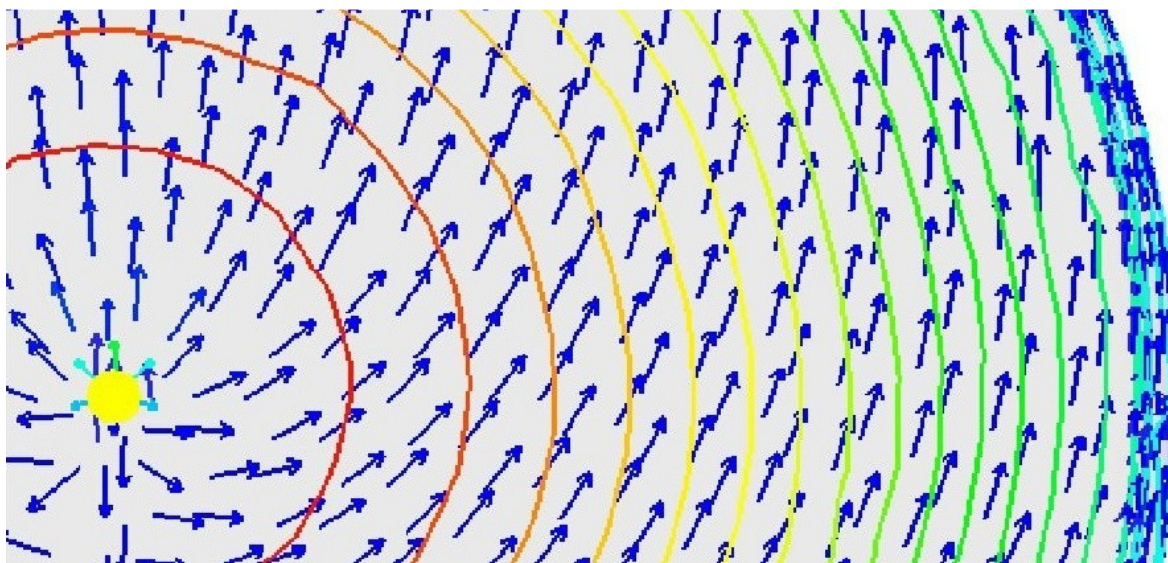


Figura 32: *Underflow*. (adaptado de [18])

Ao comparar os resultados de uma simulação numérica com uma injeção real é essencial ter em conta que a simulação numérica apenas tem significado do ponto de vista qualitativo. Existem algumas limitações associadas ao software e nesse caso, deve-se discutir a sua influência.

Por exemplo, os dados reológicos usados durante a simulação foram obtidos por via de experimentações macroscópicas. Ou seja, numa simulação numérica relativa a componentes de escala micrométrica, os dados macroscópicos não são adequados. Porém, se o tamanho dos elementos de uma malha é muito pequeno, os dados microscópicos têm mais significado mesmo que não se esteja a utilizar medidas à escala micrométrica. [19, 20]

A força de atrito entre a superfície sólida (bucha ou cavidade) e o fluido (polímero) também é alvo de aproximação numa simulação numérica. Como a pressão da frente do fluido é muito elevada, esta força de atrito, em boa verdade, acaba por ser desprezada.

No entanto, a força de atrito pode ter algum significado quando se utilizam moldes com maus acabamentos superficiais. Quanto maior a rugosidade na superfície de uma bucha ou cavidade, maior é a força de atrito a actuar no fluido. Deste modo, as discrepâncias notadas num processo de injeção são maiores. [19, 20]

Além disso, o modelo de viscosidade Cross-WLF, utilizado pelo Moldflow® ao longo dos seus cálculos, não tem em conta a influência térmica registada ao longo do modelo quando calcula as tensões. [19]

Por outro lado, a maior parte das ferramentas dos programas de simulação numérica, onde o Moldflow® se inclui, considera a “no-slip boundary condition” nos seus cálculos. Esta condição assume velocidades nulas na fronteira entre um fluido e uma superfície sólida, como sugere a Figura 33, onde a velocidade aumenta gradualmente ao afastar-se da parede do sólido. Deste modo, o fluxo de um fluido reofluidificante não é considerado durante a simulação numérica, tal como se abordou em 2.2.6. As propriedades viscoelásticas são ignoradas. [19, 20]

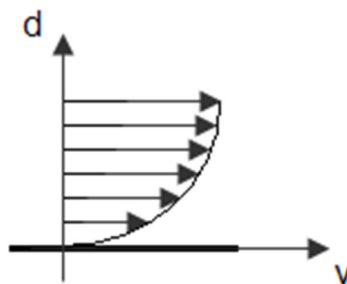


Figura 33: Perfil de velocidade de um fluido Newtoniano.

O perfil de injeção escolhido é muito importante para a estabilidade dimensional e estrutural do modelo. Factores como velocidade de injeção, temperatura de injeção e a pressão de compactação, são porventura os mais importantes porque são controlados directamente na máquina de injeção.

A comutação entre a fase de injeção e a fase de pressão pode-se fazer de várias formas: dependente do tempo, do deslocamento do fuso ou da pressão na impressão. Contudo, para todas estas possibilidades o modelo tem de seguir um perfil de pressão na cavidade correcto ao longo do ciclo de moldação. A Figura 34 compara graficamente a

evolução da pressão na cavidade em várias situações muito frequentes no quotidiano dos profissionais desta área. [2]

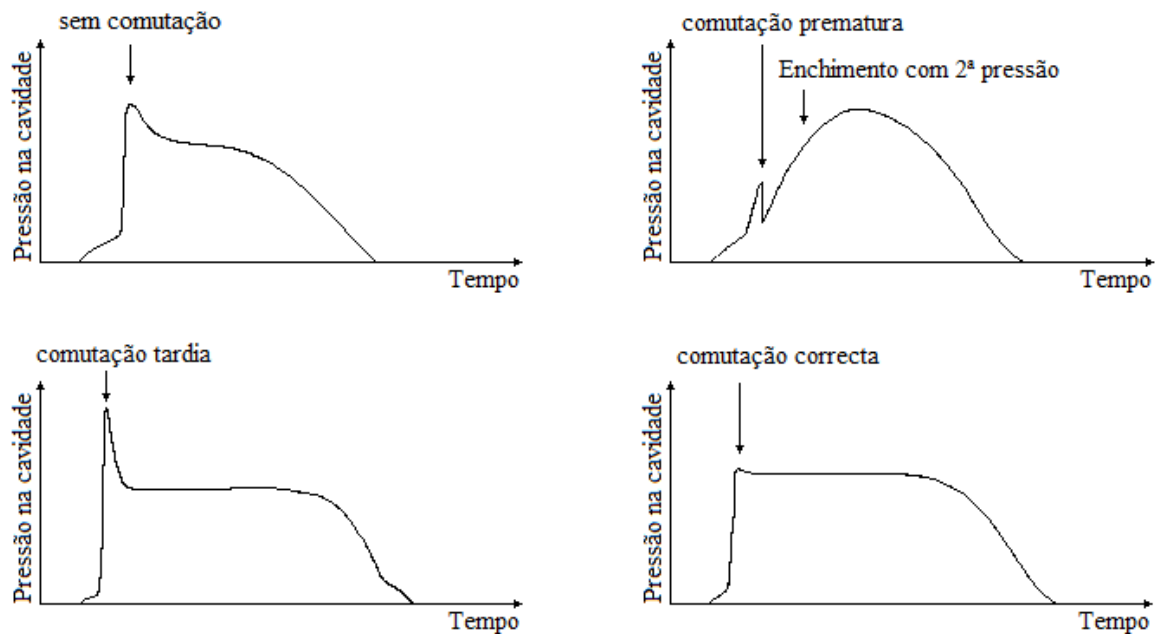


Figura 34: Perfis de pressão na cavidade do molde associados à comutação V/P. (adaptado de [2])

2.4 Estado da arte

O Centro de Tecnologia Mecânica e Automação – Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, conduziu um estudo [5] acerca da sobre-moldação de um componente PBT num inserto de bronze.

Este caso de estudo é um problema industrial real e pretende resolver um defeito na peça plástica (Figura 35). A localização da fractura situa-se no fim do fluxo das linhas de união de material e acaba por ser obviamente o ponto crítico da peça. Encontram-se também variações de espessura à volta do inserto em bronze. Com as contracções pós-moldação, a espessura de plástico torna-se insuficiente e provoca a fractura da peça.

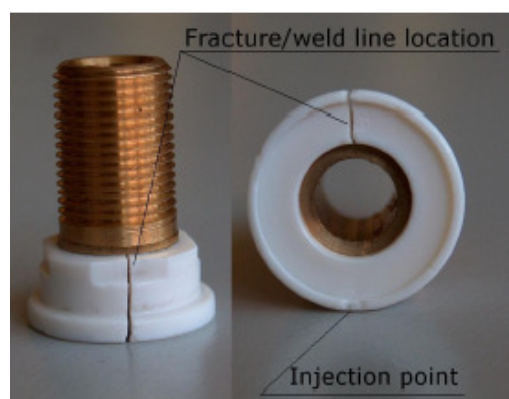


Figura 35: Sobre-moldação do PBT num inserto de bronze. (adaptado de [5])

Das matérias-primas utilizadas verifica-se que o coeficiente de expansão térmica do PBT é muito superior ao do bronze. Estas diferenças são significativas, uma vez que provocam deformações excessivas entre o plástico e o bronze.

Realizaram-se cinco simulações numéricas:

- Simulação da peça em PBT sem o inserto em bronze;
- Quatro simulações com o inserto em bronze, variando a temperatura do inserto: 25, 60, 120 e 150 °C.

Analisando os resultados obtidos, verificou-se que o pré-aquecimento do inserto em bronze antes da injeção diminui as tensões excessivas na interacção componente/inserto e aumenta as contracções radiais na peça plástica. Isto acontece como consequência do crescimento da expansão térmica linear do inserto em bronze durante o ciclo de moldação, facilitando as contracções.

A espessura de plástico que envolve o inserto também é um factor importante. A simulação numérica demonstra que o aumento da espessura é acompanhado pelo aumento das contracções.

Num estudo efectuado na República Popular da China, na “The Hong Kong Polytechnic University – Department of Industrial and Systems Engineering”, ao qual está anexado o “State Key Laboratory in Ultra-Precision Machining”, pretende-se identificar os parâmetros de injeção que provocam tensões residuais nos modelos. Este documento explica que a região onde a tensão residual é maior corresponde à região onde se encontra a tensão de corte mais elevada. Geralmente localiza-se na zona que envolve os ataques, devido às mudanças geométricas que a matéria-prima enfrenta ao passar dos ataques para a cavidade, na fase de enchimento. Portanto, se a tensão residual máxima diminuir, significa que a tensão de corte também diminui. Neste artigo demonstra-se que a relação entre o fluxo e as tensões residuais depende da geometria do modelo e que por vezes, aumentando o primeiro, minimiza-se o segundo. Assim sendo, pode haver casos que porventura precisem de um fluxo superior. [19]

Novamente na República Popular da China, através de uma parceria entre a universidade e autores de [19] e a “Central South University – School of Mechanical & Electrical Engineering”, verificou-se por meio experimental e por meio computacional, que os factores fluxo e temperatura de injeção do fluido têm um comportamento inversamente proporcional à tensão de corte, isto é, à medida que ambos aumentam, as tensões de corte diminuem. Este factor térmico provoca ainda outras alterações importantes, uma vez que o seu aumento também conduz à diminuição da viscosidade e da pressão na cavidade. Por outro lado, explica-se que a pressão de compactação e a tensão de corte são directamente proporcionais. O aumento da pressão é acompanhado pelo aumento da tensão de corte e consequentemente, provoca o aumento da tensão residual. Os testes efectuaram-se com o Moldflow®. [20]

Capítulo 3 – Metodologia experimental

3.1 Apresentação do projecto

Pretende-se estudar o processo de sobre-moldação de um caso industrial real, gentilmente cedido pela empresa Prifer Moldes. A peça foi produzida para um dos seus clientes e integra uma máquina de casino onde será a base de apoio para as mãos dos seus utilizadores. Depois de encaixada a peça na restante estrutura da máquina, é graças às aberturas laterais e central que a interface de comunicação entre o utilizador e o equipamento fica acessível.

As probabilidades de ganhar normalmente estão a favor da casa (casino) e não dos jogadores (clientes do casino), portanto o risco de um utilizador desta máquina perder dinheiro é sempre elevado. Frequentemente encontram-se jogadores que não controlam as emoções provocadas pelos maus resultados, ultrapassam os limites da boa educação e convertem o seu nervosismo em violência. Por conseguinte, pretende-se evitar dois desfechos comuns nestas ocasiões: que o cliente se magoe e que a peça se quebre. Projectou-se então uma estrutura interior forte e resistente num termoplástico, e uma estrutura exterior macia e suave num elastómero.

A zona frontal está mais exposta ao público, pelo que as solicitações mecânicas mais exigentes são efectuadas nesse local.

Para a realização deste projecto, construíram-se dois moldes. Um para produzir o inserto, através de moldação por injeção convencional, outro para injectar o elastómero directamente no inserto, através de sobre-moldação. Na organização da empresa, estes dois moldes possuem a seguinte designação: 1665 - Figura 36, e 1666 - Figura 37.

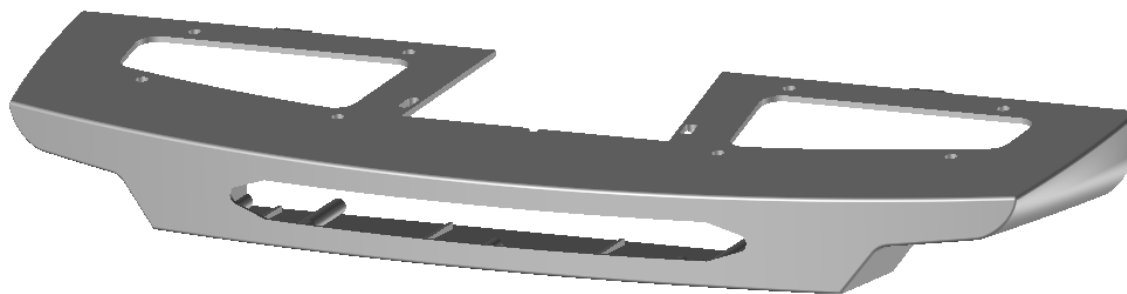


Figura 36: 1665: inserto em PC.

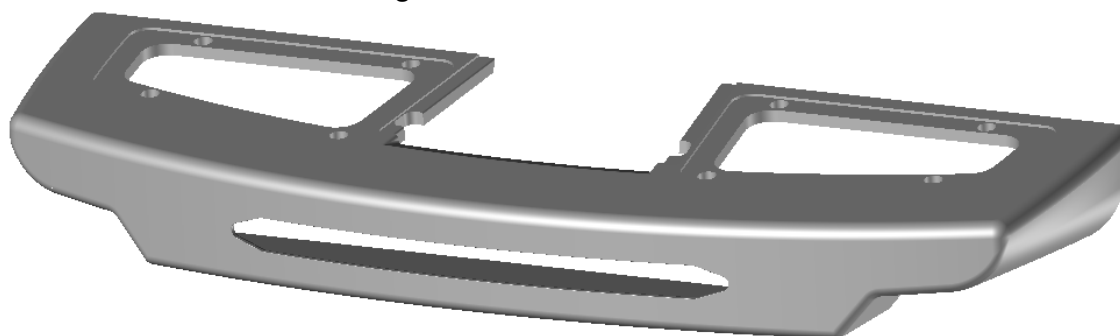


Figura 37: 1666: SEBS.

A nível empresarial nem sempre se verificam métodos de trabalho apropriados. É uma prática frequente na indústria de moldes efectuar-se uma pré-produção de peças para afinar os parâmetros da máquina de injeção. Geralmente atribui-se o nome de ensaio a esta etapa que permite definir um perfil de injeção viável para a fase final de produção. Esta forma de trabalhar tem custos mais elevados. Há mais recursos humanos envolvidos que poderiam estar a desempenhar outras funções (normalmente um ensaio envolve pelo menos três indivíduos: operador da máquina, o cliente e o comercial); por vezes tem de se interromper o trabalho das máquinas de injeção para fazer estes testes; há mais desgaste dos equipamentos por trabalharem sem necessidade (obriga a que a manutenção se efectue em intervalos mais curtos); consome mais matérias-primas; entre outros. Recorrendo a programas de simulação numérica pode-se definir os perfis de injeção sem ligar as máquinas e sem desperdiçar matérias-primas. Esta etapa, por norma, só envolve uma pessoa e permite produzir mais com menos recursos.

No que diz respeito a este projecto, efectuou-se o ensaio de pré-produção e registaram-se falhas críticas que impedem a concretização do mesmo. Deste modo, começa-se por analisar os problemas registados e, de seguida, com um método de trabalho diferente, pretende-se designar um perfil de injeção viável para a produção final recorrendo a ferramentas computacionais.

3.2 Levantamento de problemas

Durante os ensaios do policarbonato verificou-se a formação de rebarbas (Figura 38 e Figura 39), com a matéria-prima excedentária a deixar várias marcas nos furos de centragem. Esta situação tem origens diversas:

- Mecânicos: componentes do molde mal ajustados na zona moldante (exemplos: postigos da zona de moldação; extractores; etc.);
- Parâmetros da máquina de injeção incorrectos (exemplos: força de fecho insuficiente; pressão e temperatura do fluido muito elevada; velocidade de injeção excessiva)

Verificou-se então que este era um problema mecânico, prontamente corrigido pelos operadores de bancada, na oficina, visto que alguns componentes da linha de junta não se encontravam devidamente ajustados no local exacto.

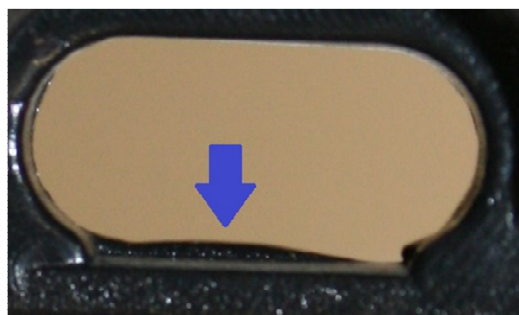


Figura 38: Formação de rebarbas nos furos de centragem (1).

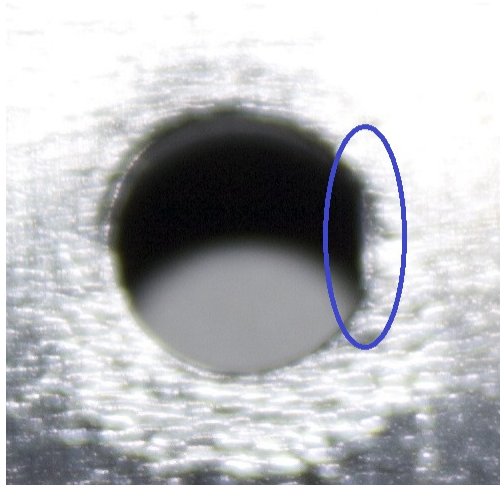


Figura 39: Formação de rebarbas nos furos de centragem (2).

As marcas de fluxo, Figura 40 e Figura 41, normalmente surgem a partir dos seguintes factores: polímero degradado, temperatura do fluido muito baixa ou velocidade de injeção incorrecta.



Figura 40: Marcas de fluxo no exterior do inserto.

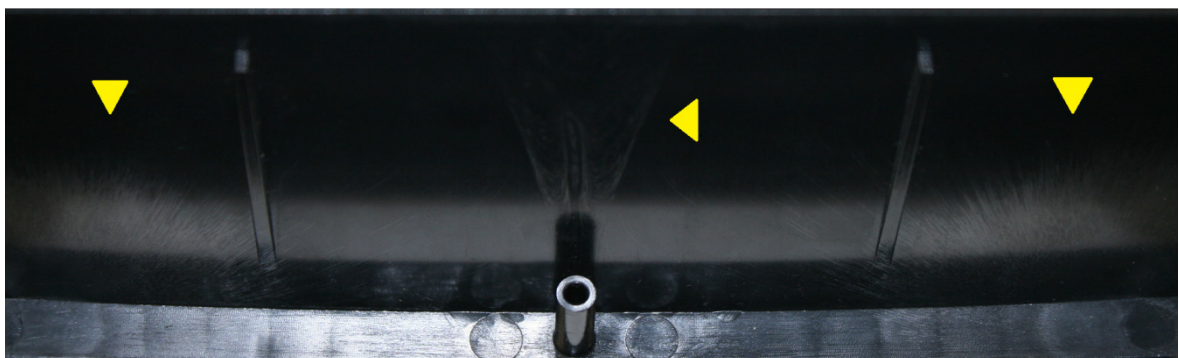


Figura 41: Marcas de fluxo no interior do inserto.

O policarbonato é um termoplástico de engenharia que se adapta facilmente ao processo de injeção, pelo que de um modo geral as suas falhas corrigem-se com a

manipulação dos parâmetros de injeção. Já no caso da sobre-moldação, os resultados são pouco animadores e é devido a esta etapa que surge a necessidade de efectuar um trabalho de investigação neste projecto. Analisando a peça a olho nu, verifica-se que a adesão entre os materiais em causa é muito pobre. Facilmente se separa todo o elastómero do inserto quando um indivíduo tenta arrancá-lo com a sua própria mão. As ligações intermoleculares que se desenvolvem entre os materiais são muito fracas. Pretende-se então obter uma solução para esta falha crítica.

Outros problemas se verificaram durante a fase de sobre-moldação. Há formação de rebarbas (Figura 42 e Figura 43) ao longo de toda a traseira da peça. Para realizar o processo de sobre-moldação é necessário colocar primeiro o inserto no molde. Verificou-se então que o inserto não estava a ser colocado de forma rigorosa pelo operador, deixando algum espaço livre entre a sua parte de trás e a superfície do molde. É imperativo que não aconteça esta situação, uma vez que é o suficiente para existirem infiltrações de SEBS durante o processo de sobre-moldação. Aconselha-se configurar um sistema robotizado para colocar o inserto no molde, certificando-se que todas as peças produzidas partem das mesmas condições iniciais.

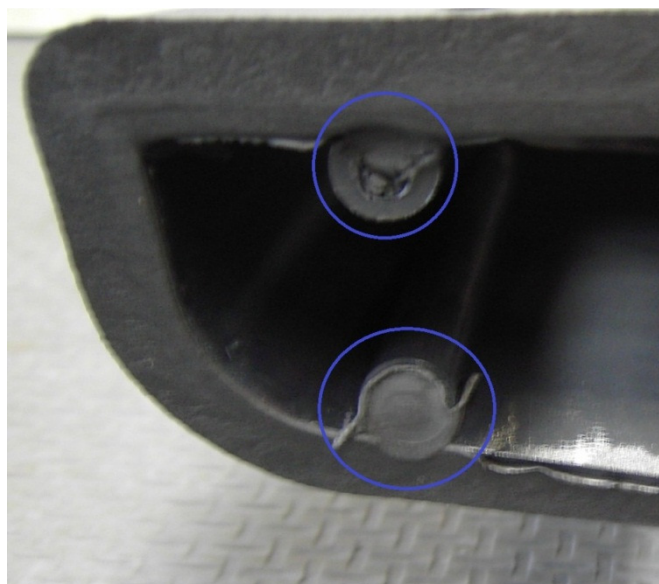


Figura 42: Zonas com rebarba.

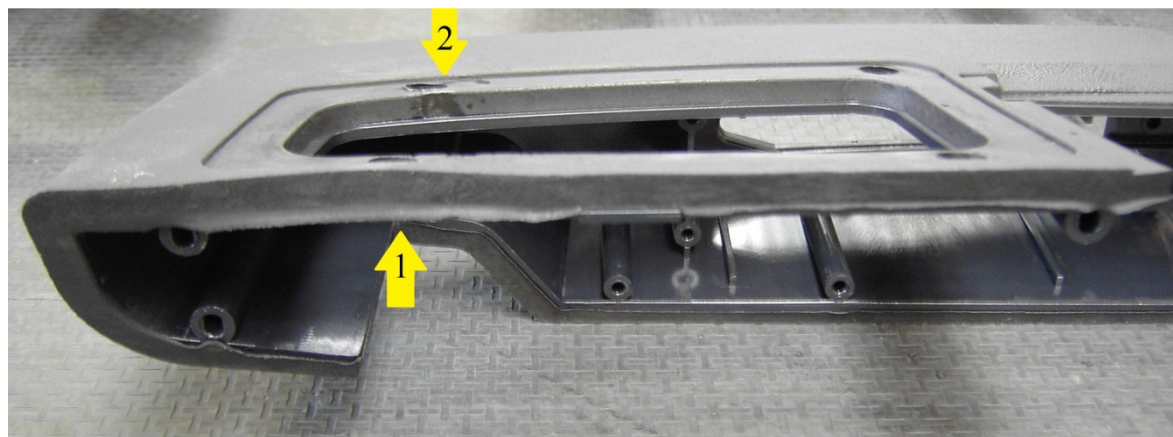


Figura 43: 1) “chupado”; 2) “queimado”. Também são visíveis as marcas de rebarba.

Contudo, a Figura 43 não se limita apenas a mostrar as rebarbas da peça. Assume um papel relevante porque mostra marcas de “queimados” e “chupados” no elastómero. Os chupados são uma retracção do material durante a fase de arrefecimento, onde porventura a fase de pressurização é a responsável pela sua aparição. Quanto à carbonização de material, deve-se essencialmente ao aprisionamento de gases dentro do molde. Estes acompanham as frentes de fluxo ao longo da fase de enchimento e resultam da transformação do polímero sólido em fundido, por acção do movimento de translação e rotação do fuso da máquina de injeção. Senão houver uma forma eficiente de os expelir do molde, aparecem defeitos na peça. Defeitos desta natureza são muito comuns quando a velocidade de injeção é muito alta ou quando o curso é muito curto. Ambos produzem etapas de injeção muito curtas e o tempo é reduzido de modo a permitir que todos os gases sejam expelidos. Outra das justificações prende-se com o facto de o molde estar mal projectado. Um bom molde tem de ter sempre um sistema de escape de gases eficiente. Neste caso em concreto, o molde possui fugas de gases, excluindo-se esta possibilidade como principal fonte de problema. No entanto, há que ter sempre em conta que o projecto pode ser optimizado, é muito frequente encontrar casos onde é preciso adicionar ainda mais saídas às existentes.

A presença de estrias e de queimados (Figura 44) são o principal problema durante a injeção do elastómero, a par com a pouca adesão entre os polímeros. O componente exterior da peça possui pré-requisitos estéticos. Isto é, a peça terá de ser apresentável porque será o componente mais exposto ao utente do casino onde a máquina será exposta e o componente integrado.



Figura 44: Estrias.

Quanto à carbonização do elastómero, tenta-se corrigir diminuindo a velocidade de injeção com o intuito de dar tempo suficiente aos gases de saírem de dentro do molde. No perfil de injeção decidiu-se diminuir a velocidade final do fluido com esse intuito, no entanto, surgiu outro problema: marcas de hesitação (Figura 45). Por conseguinte, o enchimento da peça não é integral sob estas condições. Como a fase de

injecção passa a consumir demasiado tempo, dá-se a solidificação do elastómero antes de tempo, impedindo que todas as extremidades da peça sejam injectadas.



Figura 45: A hesitação impede o enchimento integral.

O equilíbrio dos parâmetros é fundamental na moldação por injecção. Verificam-se problemas quer para tempos de injecção demasiado longos, quer para tempos demasiado curtos. A necessidade de encontrar o equilíbrio é bem explícita neste exemplo, podendo beneficiar dos estudos numéricos a jusante.

3.3 Adesão na interface PC/SEBS

Para colocar à prova a qualidade da adesão na interface PC/SEBS testou-se a peça à tracção. Ao aplicar uma carga no elastómero, a resistência da interface PC/SEBS cedeu imediatamente. Foi possível arrancar todo o SEBS do inserto com pouco esforço.

Em 2.2.6 referiu-se que a energia necessária para separar dois polímeros dependia, entre outros factores, da pressão. Verificou-se, experimentalmente, que esta premissa é válida, uma vez que a força aplicada por unidade de área foi suficiente para atingir essa energia de separação.

Apresentou-se então uma sugestão ao cliente: aumentar a área do inserto na interface entre os dois materiais. Deste modo, a força por unidade de área necessária para os separar é significativamente maior. A adição de nervuras permite aumentar consideravelmente a área de contacto entre os dois polímeros. O departamento I&D do cliente desenvolveu então um novo modelo 3D, que pode ser consultado na Figura 46. Esta solução também acaba por ser económica e de fácil concretização. As alterações ao molde são simples, apenas é necessário maquinar as nervuras.

Voltando a 2.2.6, refere-se também que a profundidade de penetração do fluido no inserto depende da temperatura. Recomenda-se aproveitar o intervalo de temperatura de injecção do SEBS da melhor forma, escolhendo o valor mais alto da gama existente. Assim sendo, quando o fluxo do elastómero entrar em contacto com o inserto em policarbonato, por acção da temperatura elevada, ocorre um amaciamento da superfície mais significativo da qual resulta uma profundidade de penetração do elastómero no policarbonato maior. Portanto, a adesão entre os polímeros torna-se mais forte.

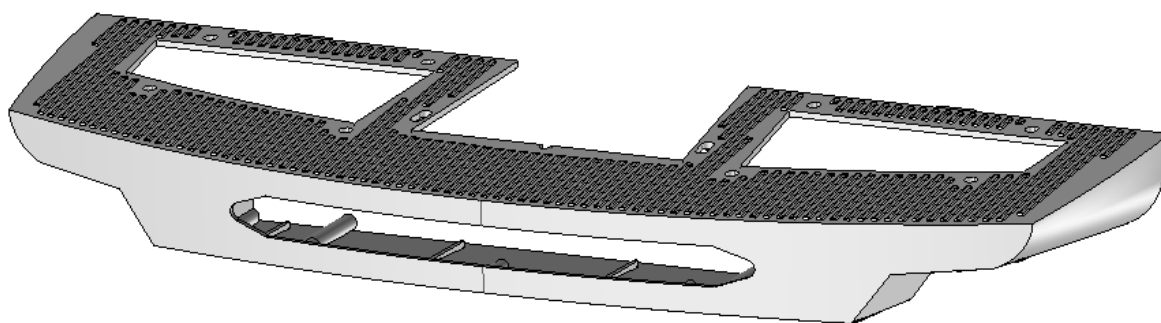


Figura 46: Adição de nervuras ao modelo para aumentar a superfície de contacto na interface PC/SEBS.

3.4 Tratamento de dados

O cliente forneceu as modelações CAD e efectuaram-se algumas simplificações de forma a reduzir o número de elementos da malha, nomeadamente a eliminação dos raios de curvatura entre superfícies. Este procedimento é aconselhado na interface de ajuda do Moldflow® e, segundo os autores, não coloca em causa a veracidade dos resultados. Procede-se deste modo devido à complexidade geométrica das peças em causa, contribuindo para melhorar a qualidade da malha e, consequentemente, do domínio de cálculo.

A importação do ficheiro CAD em formato Parasolid para o Moldflow® ocorre através da interface Autodesk® Moldflow® Design Link. Com o objectivo de estudar o perfil de injeção durante um processo de sobre-moldação, utilizou-se uma malha do tipo *dual-domain*, que representa um modelo CAD sólido, coberto por elementos triangulares na sua superfície. Acaba por ser um corpo oco envolvido numa superfície do tipo casca (*Shell*).

Após o processo de importação, fez-se a correcção manual da malha com o intuito de remover alguns defeitos: arestas livres, elementos mal orientados, intersecções, sobreposições ou até mesmo duplicações. Analisando o resultado estatístico referente à qualidade das malhas nos modelos utilizados no estudo, verifica-se qualidade superior a 85% que se traduz numa razão de aspecto próximo de 6 (valores de referência recomendados pela Autodesk®).

Por fim, construíram-se os respectivos sistemas de alimentação em cada modelo, ambos naturalmente balanceados, permitindo assim que o fluido chegue a todos os ataques ao mesmo tempo.

3.5 Matérias-primas

O inserto foi injectado com o Sabic® PC 1000R Resin, que não se encontra na base de dados do Moldflow®. Contudo, este fabricante está representado com outros materiais, cujas propriedades termofísicas e reológicas (Anexo 1) são comparáveis com o

material efectivamente utilizado durante a simulação numérica: Sabic Innovative Plastics Japan LLC - Lexan 945 (Anexo 2).

Quanto ao SEBS, a situação é mais complexa. Injectou-se a peça com o SEBS VS21030811 do fabricante CJP Sales Ltd. Foi encomendado, escolhido e fabricado propositadamente para o cliente da Prifer Moldes, daí que a sua ficha técnica seja muito limitada (Anexo 3). Apenas estão disponíveis as condições de processamento e, por comparação, a melhor hipótese na escassa base de dados para o SEBS é o modelo Multiflex G 75 A 520, da marca Multibase (Anexo 4). A Tabela 7 resume as principais propriedades utilizadas quer do termoplástico, quer do elastómero. A Tabela 8 resume as condições de processamento de referência recomendadas.

Tabela 7: Resumo das propriedades dos polímeros utilizados no estudo.

Material	Módulo de Young	Coefficiente de Poisson	Densidade	Tg	Tensão corte máx.	Taxa de corte máx.
	MPa	-	g.cm ⁻³	°C	MPa	s ⁻¹
PC	2270	0,4	1,1960	140	0,5	40000
SEBS	5	0,42	1,1563	107	0,3	40000

Tabela 8: Resumo das condições de processamento.

Material	Temperatura do molde		Temperatura de fusão		Temperatura de Ejeção
-	Standard	Intervalo	Standard	Intervalo	-
	°C	°C	°C	°C	°C
PC	85	70 - 95	305	295 - 315	125
SEBS	30	20 - 40	185	175 - 195	65

Ao comparar o intervalo de valores da temperatura de fusão do fluido da Tabela 8 com os valores presentes no Anexo 1 e no Anexo 3, conclui-se que esta gama de temperaturas entre os dois policarbonatos e entre os dois elastómeros é diferente (cerca de 5°C). Apesar de ser uma diferença mínima, é necessário fazer alguns ajustes às temperaturas do perfil de injeção na simulação numérica, como se constatará mais à frente.

3.6 Máquina de injeção

Na Tabela 9 encontram-se os modelos das máquinas de injeção utilizadas para a produção das peças. Adicionou-se à base de dados do Moldflow® os dados inerentes a estas máquinas de injeção para realizar as respectivas simulações numéricas. O Anexo 5 e o Anexo 6 contêm uma cópia das especificações técnicas dos equipamentos.

Tabela 9: Modelos das máquinas de injeção.

Material	Marca	Modelo
PC	Ferromatik	K-TEC 250 S
SEBS	Inautom	Euro Inj D-400

3.7 Estudo do perfil de injeção da fase de pré-produção

A Tabela 10 resume o perfil de injeção utilizado durante a fase de pré-produção que está na origem dos problemas levantados em 3.2. O documento original encontra-se no Anexo 7.

Esclarece-se que os valores da temperatura de injeção definidos na simulação 1 (Tabela 11) são ligeiramente diferentes dos valores utilizados na realidade. Explicaram-se em 3.5 as diferenças entre os materiais utilizados na prática e nas ferramentas computacionais. Para que a simulação 1 se aproxime da realidade utilizou-se o mesmo pressuposto da prática. Para o policarbonato escolheu-se o valor mais baixo do intervalo de temperaturas, enquanto para o SEBS se definiu o valor mais elevado.

Tabela 10: Perfil de injeção do PC e do SEBS durante a pré-produção.

1665 (PC)		1666 (SEBS)	
Curso	Velocidade	Curso	Velocidade
mm	mm s ⁻¹	mm	mm s ⁻¹
220	15	190	70
205	50	45	40
45	V/P	30	V/P
Tempo	Pressão ¹	Tempo	Pressão ¹
s	Bar	s	Bar
4	50	5	20

¹ Os valores de pressão utilizados nesta fase correspondem à pressão hidráulica. Este valor, apesar de estar relacionado, é diferente da pressão de manutenção e encontra-se explicado em 2.1.2 como se obtém este parâmetro.

Tabela 11: Simulação 1: parâmetros introduzidos no Moldflow®.

1665 (PC)		1666 (SEBS)	
Curso	Velocidade	Curso	Velocidade
mm	mm s ⁻¹	mm	mm s ⁻¹
220	15	190	70
205	50	45	40
45	V/P	30	V/P
Tempo	Pressão	Tempo	Pressão
s	MPa	s	MPa
4	5	5	2
Temperatura do molde (°C)			
85		30	
Temperatura de injeção (°C)			
295		195	
Tempo de arrefecimento (s)			
30		30	

3.7.1 Discussão de resultados

A Tabela 12, a Tabela 13, a Figura 47 e a Figura 48 resumam os resultados obtidos nas simulações numéricas em Moldflow®, para o perfil de injeção utilizado durante a fase de pré-produção que está na origem dos problemas levantados em 3.2. Ambas as tabelas possuem os dados obtidos para o PC e para o SEBS nas duas simulações de sobre-moldação efectuadas. Na Tabela 13, na coluna respeitante à comutação V/P, os resultados aparecem com uma informação adicional: percentagem de matéria-prima injectada até ao momento para cada componente.

Tabela 12: Resultados da simulação 1 (parte 1).

Simulação 1	Tempo enchimento	Temperatura	Tensão corte na parede	Taxa de corte
Unidades	S	°C	MPa	1/s
PC	6,24	299,82	3,60	177,47
SEBS	2,53	199,95	0,13	14121,00

Tabela 13: Resultados da simulação 1 (parte 2).

Simulação 1	Pressão máx. injeção	Comutação V/P	Contração volumétrica	Fracção arrefecida
Unidades	MPa	MPa	%	-
PC	104,82	104,82 (93,76%)	8,84	0,94
SEBS	18,36	15,38 (97,52%)	7,88	1

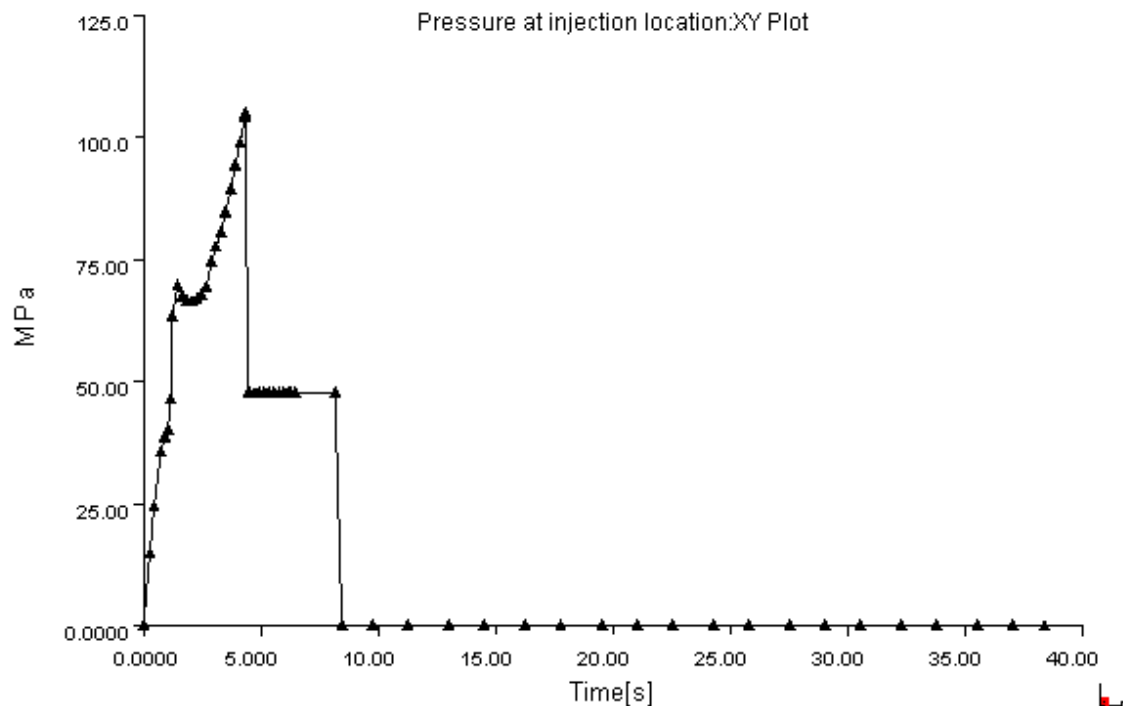


Figura 47: Evolução da pressão na cavidade ao longo do tempo (Simulação 1 - PC).

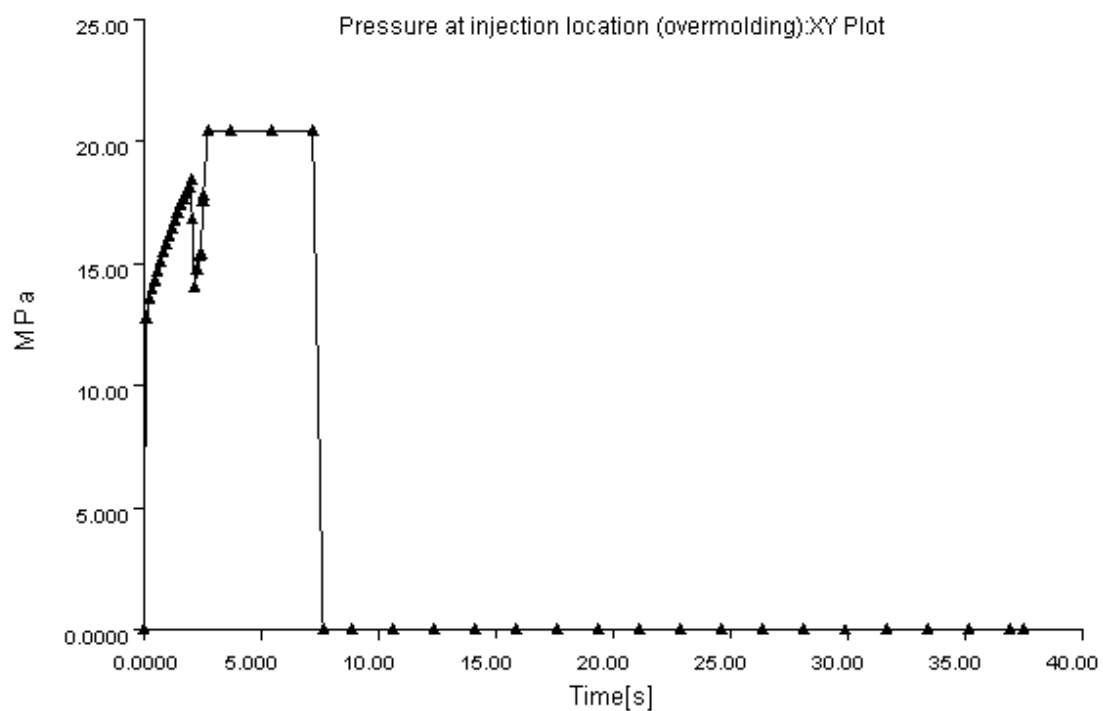


Figura 48: Evolução da pressão na cavidade ao longo do tempo (Simulação 1 - SEBS).

Analisando os gráficos dos perfis de pressão de injeção, verifica-se que ambos possuem algumas incongruências.

Começando pelo inserto (Figura 47), conclui-se que a comutação V/P entre a fase de injeção e de pressurização não segue o modelo esperado (Figura 34). Inicialmente o inserto é injectado com uma velocidade de injeção baixa (15mm/s) até aos 1.44 segundos. Durante este tempo, o fluido percorre os canais do sistema de injeção. A partir do momento que o fluido entra na cavidade moldante, a velocidade aumenta e esperava-se que o declive da recta siga a mesma tendência até ao seu ponto máximo. No entanto, entre os 1.44 e os 2.26 segundos existe uma ligeira oscilação na curva que não é expectável e que coincide com a zona onde as marcas de fluxo são visíveis (efeito hesitação). Torna-se imperativo eliminar a oscilação da pressão durante o enchimento de PC. No momento da comutação V/P encheu-se apenas 93,76% da peça na simulação 1. A partir deste momento começa a fase de pressurização a pressão constante. Aconselha-se 80% da pressão máxima verificada no interior da peça (pressão na cavidade) para esta etapa, distinta da pressão de injeção introduzida na máquina. Quando se programa a máquina de injeção, a pressão verificada no interior do molde não corresponde ao parâmetro introduzido. Este sofre uma amplificação da sua magnitude por parte dos cilindros hidráulicos, que varia consoante a gama e o modelo da máquina. Para a máquina onde é feita a injeção do inserto, a amplificação é de 9,5.

$$\begin{aligned} 104,82 \times 80\% &\approx 84\text{MPa} \\ 5 \times 9,5 &= 47,5\text{MPa} \Rightarrow \approx 45\% P_{max} \end{aligned}$$

Estes resultados mostram uma diferença de 35% entre o valor esperado ($\approx 80\%$) e o valor obtido ($\approx 45\%$). Quanto ao elastómero (Figura 48), verifica-se uma ligeira oscilação quando o perfil de velocidades passa de 70 mm.s^{-1} para 40.

$$\begin{aligned} 18.36 \times 80\% &= 14,69\text{MPa} \\ 2 \times 10.2 &= 20,4\text{MPa} \Rightarrow \approx 111\% \end{aligned}$$

A pressão de compactação do SEBS representa 111% da pressão máxima verificada durante a fase de enchimento, ou seja, a segunda pressão encontra-se demasiado majorada, tal como se pode observar no Figura 48. A comutação V/P é responsável pelo enchimento de 97,52%.

A tensão de corte do PC ultrapassa o seu valor máximo permitido: 0,5. É um parâmetro que tem de ser corrigido, devido à sua importância na estabilidade que confere à peça final. O elastómero não apresenta este problema.

O padrão de enchimento do inserto é, de um modo geral, uniforme. A peça é muito complexa, possuindo muitos detalhes geométricos para garantir uniformidade a 100%. Também não se verifica o caso ideal: enchimento unidireccional. Ocorrem algumas mudanças de direcção na frente do fluido, inevitável em tantas irregularidades geométricas. O facto de existirem demasiadas nervuras no modelo provoca esses inconvenientes (Figura 49).

Da geometria irregular, é proveniente também a formação de várias linhas de soldadura e de fundido. Pode ser um problema se nesses locais houver problemas de arrefecimento ou concentração excessiva de tensões residuais. Quanto ao modelo elastomérico, registam-se as mesmas preocupações, visto que neste aspecto os comportamentos das matérias-primas são semelhantes.

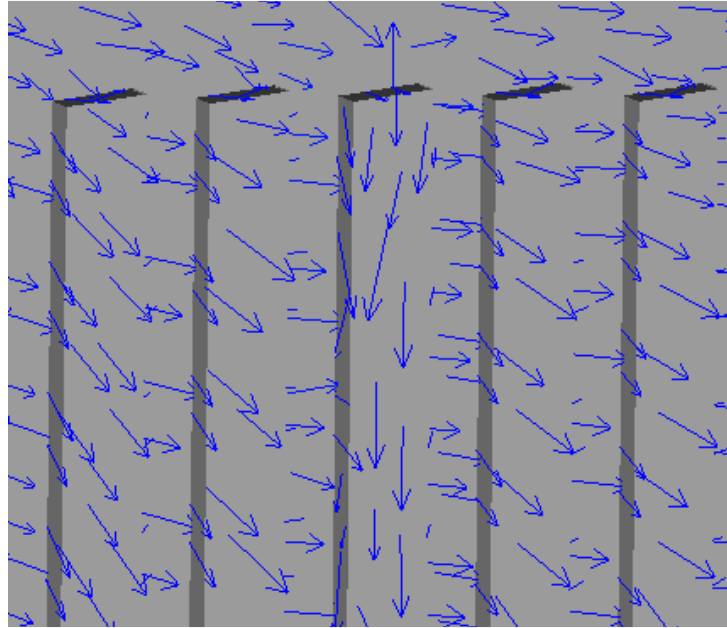


Figura 49: Nervuras onde ocorrem mudanças de direcção na frente do fluido (PC).

O arrefecimento de ambos os componentes não é uniforme, existindo grande probabilidade de as contracções influenciarem as deformações verificadas na peça. No Moldflow® pode-se verificar se o arrefecimento é uniforme através de uma análise aos dados da “frozen layer fraction” (Fracção Arrefecida - Tabela 13). A um bom arrefecimento associam-se valores inferiores a 0,25 e neste caso, ambos os componentes estão fora do intervalo.

Durante a fase de injeção do PC não se verifica a solidificação da frente do fluido, o que permite concluir que o fenómeno de hesitação não acontece. No elastómero é visível a diminuição de velocidade na frente do fluido a certa altura devido ao seu perfil de injeção, mas não se pode afirmar que ocorre hesitação.

O *underflow* relaciona-se com as tensões internas e estas estão directamente relacionadas com as tensões de corte verificadas na peça, sendo por isso de salientar que nos locais onde existe maior tensão de corte, a orientação do polímero não é constante.

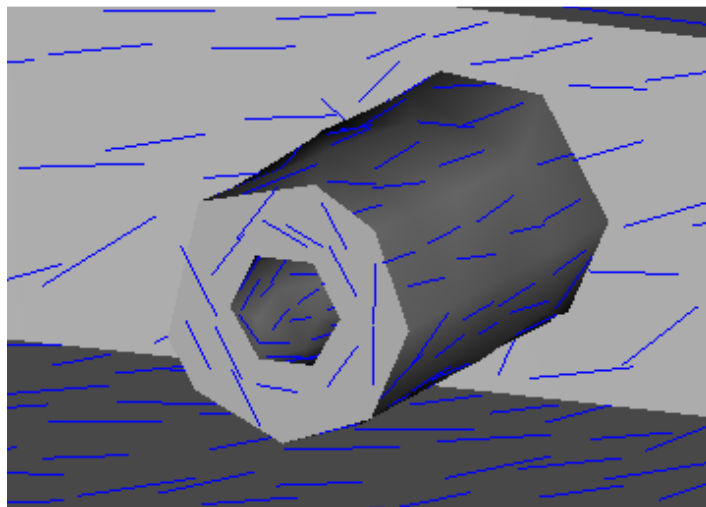


Figura 50: Região onde se localizam as tensões de corte maiores (PC).

3.8 Definição de um perfil de injeção padrão

Pretende-se nesta fase do trabalho estabelecer um perfil de injeção que permita injectar os dois componentes minimizando defeitos, recorrendo-se para o efeito à simulação numérica. Após a análise à simulação 1, concluiu-se que os problemas maiores surgiam com as variações de velocidade no perfil de injeção. Portanto, decidiu-se remover do perfil essas mesmas velocidades. A fase de pressurização também não era a mais adequada e implementou-se uma pressão correspondente a 80% da pressão máxima verificada durante a fase de injeção. A comutação V/P efectua-se de forma automática. Todos os outros parâmetros se mantêm (temperatura do molde, temperatura de injeção, tempo de manutenção e tempo de arrefecimento). Este perfil pode ser consultado na Tabela 14.

Tabela 14: Simulação 2.

1665 (PC)		1666 (SEBS)	
Curso	Velocidade	Curso	Velocidade
mm	mm s ⁻¹	Mm	mm s ⁻¹
220	50	190	70
Comutação V/P			
Automático			
Tempo	Pressão	Tempo	Pressão
s	MPa	S	MPa
4	80% P _{máx}	5	80% P _{máx}
Temperatura do molde (°C)			
85		30	
Temperatura de injeção (°C)			
295		195	
Tempo de arrefecimento (s)			
30		30	

3.8.1 Discussão de resultados

Os perfis de pressão na cavidade (Figura 51 e Figura 52) assemelham-se ao modelo esperado (Figura 34). A comutação V/P ocorre quando a injeção do fluido atinge a pressão máxima. A fase de injeção do elastómero encontra-se bem definida visto que é responsável por cerca de 99% do enchimento da peça, valor recomendado pelo Moldflow®.

No entanto, o perfil de pressões na cavidade do PC (Figura 51) não é perfeito. O aumento da pressão durante a fase de injeção não segue uma tendência tão linear quanto a desejável e explica-se com o facto de a frente de fluido atravessar várias alterações de espessura ao longo do enchimento, fruto da geometria irregular do modelo, que se traduz em sucessivas mudanças de direcção e na formação de várias linhas de soldadura e de fundido.

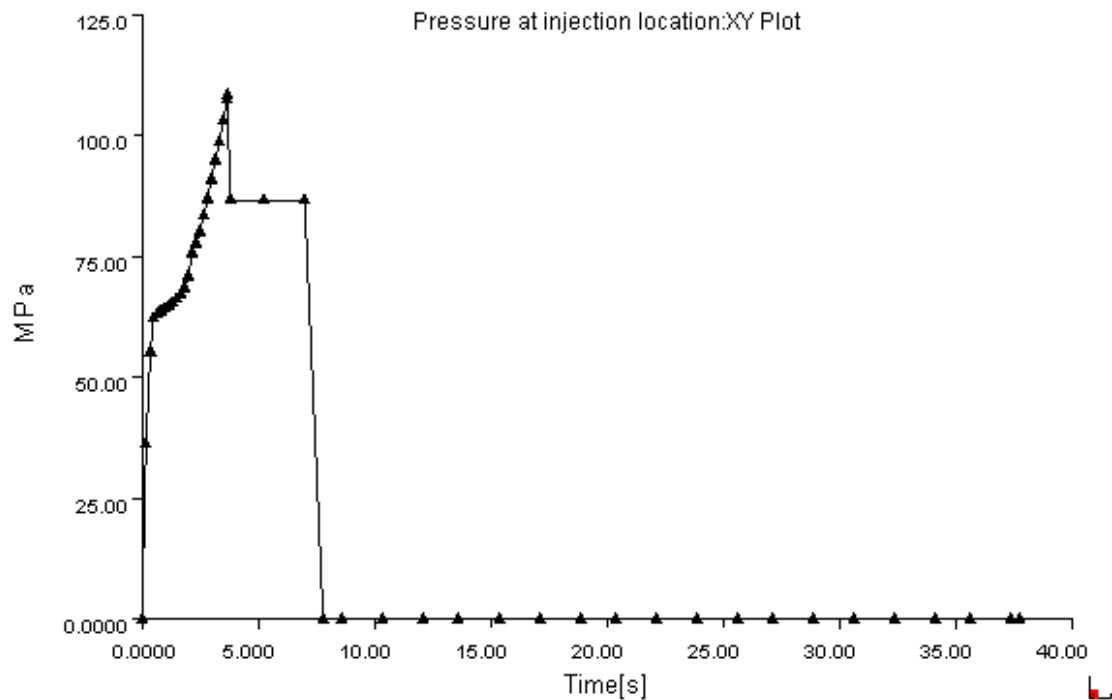


Figura 51: Evolução da pressão na cavidade ao longo do tempo (Simulação 2 - PC).

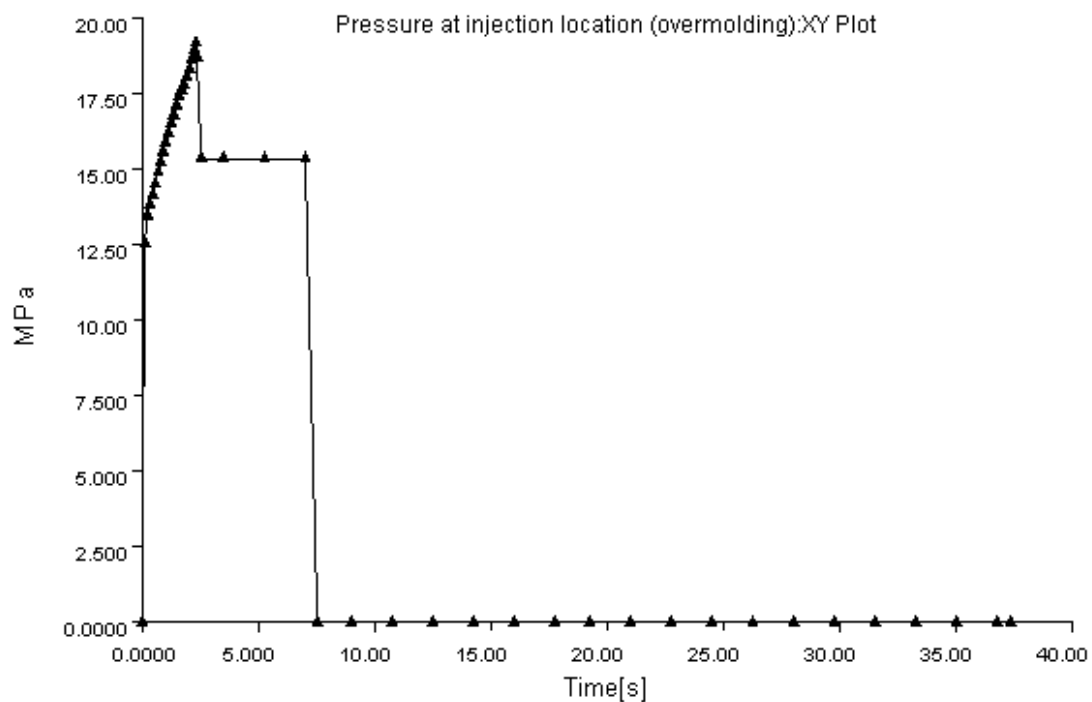


Figura 52: Evolução da pressão na cavidade ao longo do tempo (Simulação 2 - SEBS).

A Tabela 15 e a Tabela 16 apresentam os resultados da simulação 2. Um dos maiores problemas da simulação 1 do inserto foca-se na tensão de corte, que é exagerada. Neste momento, apesar de continuar fora do intervalo esperado, o valor de

tensão de corte encontra-se dentro da tolerância referida em 2.3, visto que se está na presença de um ambiente aprazível.

A fracção arrefecida de ambos os componentes continua elevada, principalmente para o elastómero. O arrefecimento não é uniforme e deste modo, pode-se verificar contracções indesejáveis na peça.

Apesar das melhorias significativas da simulação 1 para a simulação 2, nota-se que este perfil de injeção ainda não é o ideal.

Tabela 15: Resultados da simulação 2 (parte 1).

Simulação 2	Tempo enchimento	Temperatura	Tensão corte na parede	Taxa de corte
Unidades	s	°C	MPa	1/s
PC	3,82	308,12	0,69	1807,86
SEBS	2,35	201,57	0,14	17678,00

Tabela 16: Resultados da simulação 2 (parte 2).

Simulação 2	Pressão máx. injeção	Comutação V/P	Contracção volumétrica	Fracção arrefecida
Unidades	MPa	MPa	%	-
PC	108,26	108,26 (97,21%)	8,01	0,35
SEBS	19,16	19,16 (99,06%)	7,98	0,72

3.9 Estudo dos parâmetros que influenciam o processo de injeção

Com o intuito de otimizar o processo de injeção do inserto e da sobre-moldação, definiu-se a simulação 2 da Tabela 14 como padrão. A função desta simulação é servir de base de comparação para os parâmetros testados neste capítulo. Deste modo, é possível perceber quais os parâmetros mais significativos para cada processo de injeção.

Neste capítulo, pretende-se seguir o exemplo do estudo efectuado por (Weng, Lee, To, & Jiang, 2009), que definiu uma simulação padrão e recorreu ao Moldflow® para a simular numericamente. Entretanto, para cada parâmetro introduzido no Moldflow® definiu um intervalo de valores majorando e minorando o valor de referência. Deste modo, foi possível testar a influência de todas as variáveis no seu caso de estudo que se encontram definidas na Tabela 17, Tabela 18, Tabela 19, Tabela 20, Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23.

3.9.1 Velocidade de injeção

Tabela 17: Variação da velocidade de injeção.

Velocidade de injeção (mm s ⁻¹)		
Simulação	1665 (PC)	1666 (SEBS)
3	40	50
4	60	60
5	70	80

3.9.2 Curso

Tabela 18: Variação do curso do parafuso de injeção.

Curso (mm)		
Simulação	1665 (PC)	1666 (SEBS)
6	210	180
7	225	200
8	230	210

3.9.3 Temperatura

Tabela 19: Variação da temperatura do molde.

Temperatura do Molde (°C)		
Simulação	1665 (PC)	1666 (SEBS)
9	70	20
10	90	35
11	95	40

Tabela 20: Variação da temperatura de injeção do fluido.

Temperatura de injeção (°C)		
Simulação	1665 (PC)	1666 (SEBS)
12	305	175
13	310	185
14	315	190

3.9.4 Pressão de manutenção e tempo de manutenção (fase de pressurização)

Tabela 21: Variação da pressão de manutenção.

Pressão de manutenção - % Pmax de injeção (MPa)		
Simulação	1665 (PC)	1666 (SEBS)
15	70%	70%
16	80%	80%
17	90%	90%

Tabela 22: Variação do tempo ao longo do qual actua a pressão de manutenção.

Tempo (s)		
Simulação	1665 (PC)	1666 (SEBS)
18	7	7
19	10	10
20	20	20

3.9.5 Tempo de arrefecimento

Tabela 23: Tempo de arrefecimento.

Tempo (s)		
Simulação	1665 (PC)	1666 (SEBS)
21	10	10
22	20	20
23	40	40

3.9.6 Geometria do modelo

A geometria do modelo é o factor que mais influencia a estabilidade e o custo de produção de um componente. Quando se elabora um projecto deve-se ter sensibilidade acerca da fase de produção para obter o melhor design possível. Por vezes, as geometrias irregulares são muito difíceis de produzir e algumas alterações mínimas ao modelo facilitam bastante os processos de produção.

O inserto é inevitavelmente um modelo com a geometria bastante irregular (exemplo: Figura 53), o que condiciona a qualidade da peça no final da fase produtiva, tal como demonstra a concentração excessiva de tensões em algumas zonas da peça.

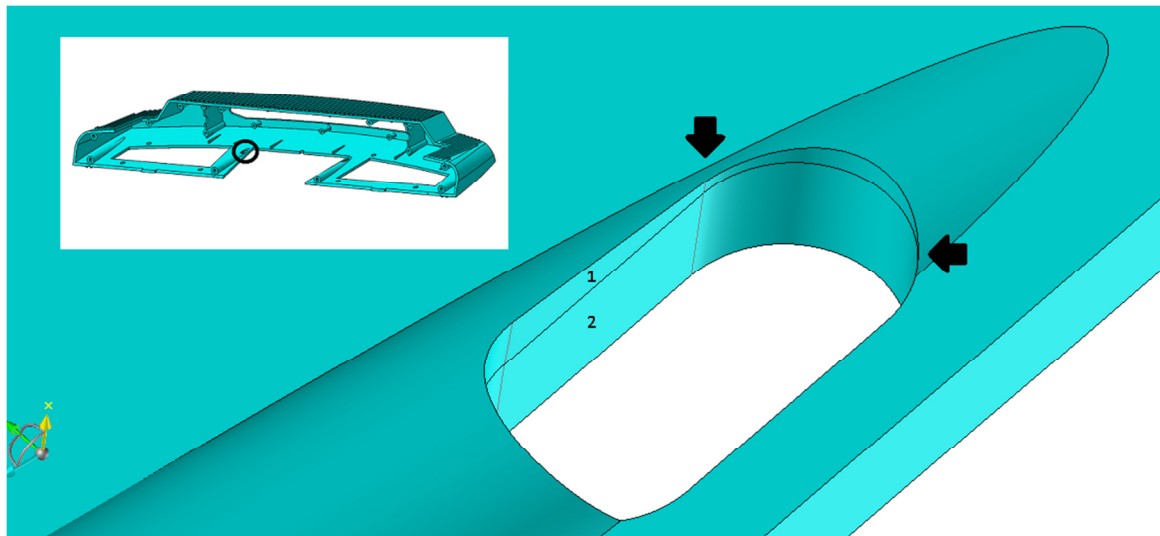


Figura 53: Inserto original.

Sempre que possível deve-se recorrer ao redesign do modelo para simplificar as zonas mais sensíveis e que podem representar falhas críticas aquando do funcionamento do componente. Sugeriu-se algumas alterações ao modelo (Figura 54).

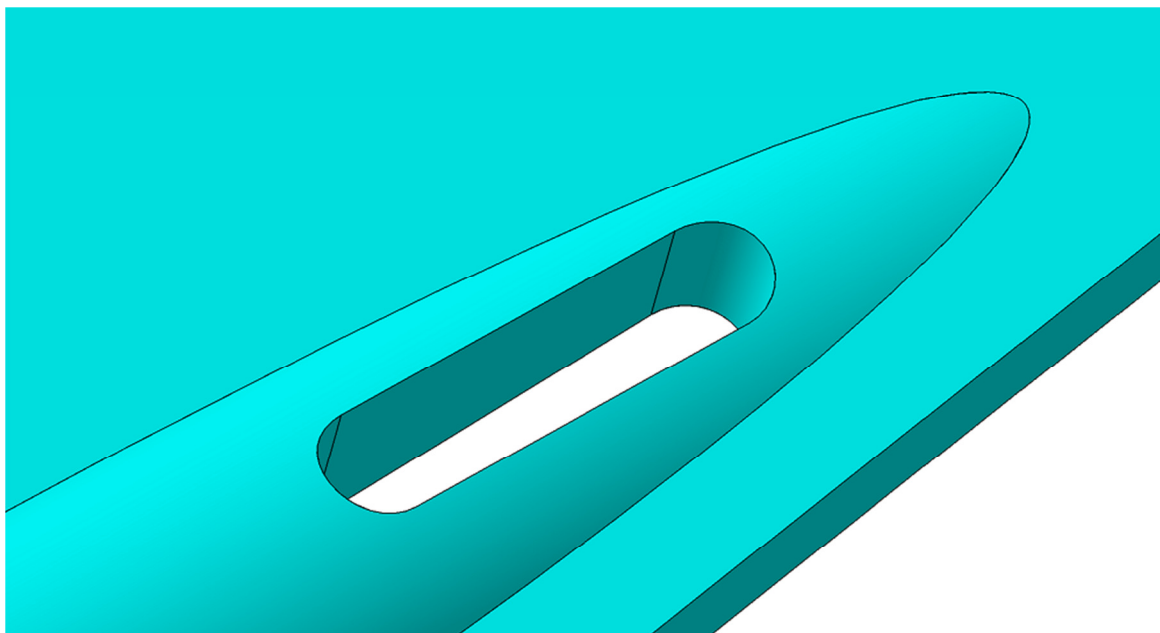


Figura 54: Proposta de alteração ao inserto.

Na Figura 53, verifica-se que as superfícies representadas por 1 e 2 não são paralelas, existe um ângulo de 2° entre si. As setas (horizontal e vertical) representam zonas onde a espessura é reduzida. Esta geometria conduz a vários problemas durante a fase de injeção: enchimento e orientação multidireccional, tensão de corte elevada, etc.

A geometria proposta (Figura 54) simplifica bastante a fase de injeção, reduzindo os problemas significativamente. O cliente recusou esta solução porque tem de obedecer à estrutura onde esta peça vai encaixar. Contudo, esta sugestão não foi totalmente descartada e, no futuro, a equipa de projecto estudará a viabilidade da sua implementação nas novas versões desta máquina de casino.

3.9.7 Discussão de resultados

- Velocidade de injeção

Os perfis de pressão na cavidade (Figura 55, Figura 56 e Figura 57) sofrem algumas alterações à medida que a velocidade de injeção do inserto aumenta. Na simulação 5 (Figura 57), a pressão sofre uma queda numa fase inicial do processo e de seguida volta a recuperar, tal como se pode observar também na simulação 1. No que diz respeito ao SEBS, no intervalo de velocidades seleccionado os resultados apresentam um perfil de pressões muito próximo do modelo teórico (Figura 34).

A Tabela 24 e a Tabela 25 mostram as características dos componentes após o processo de injeção. A única alteração significativa na tensão de corte, para o inserto, acontece à velocidade mais baixa (40mm s^{-1} – simulação 3), que aumenta aproximadamente 2,5 vezes face à simulação 2 (padrão). Esta simulação é a que mais influencia negativamente os resultados. No elastómero, sucede o inverso. O aumento da velocidade de injeção é acompanhado pelo aumento da tensão de corte. Contudo, as diferenças são pouco significativas e em nenhuma simulação se ultrapassa o valor máximo permitido (0,3). Alguns parâmetros são comuns aos dois polímeros. Logicamente, o tempo de injeção diminui com o aumento da velocidade de injeção. O mesmo comportamento se verifica com a fracção arrefecida, ao passo que a contracção volumétrica segue o caminho inverso.

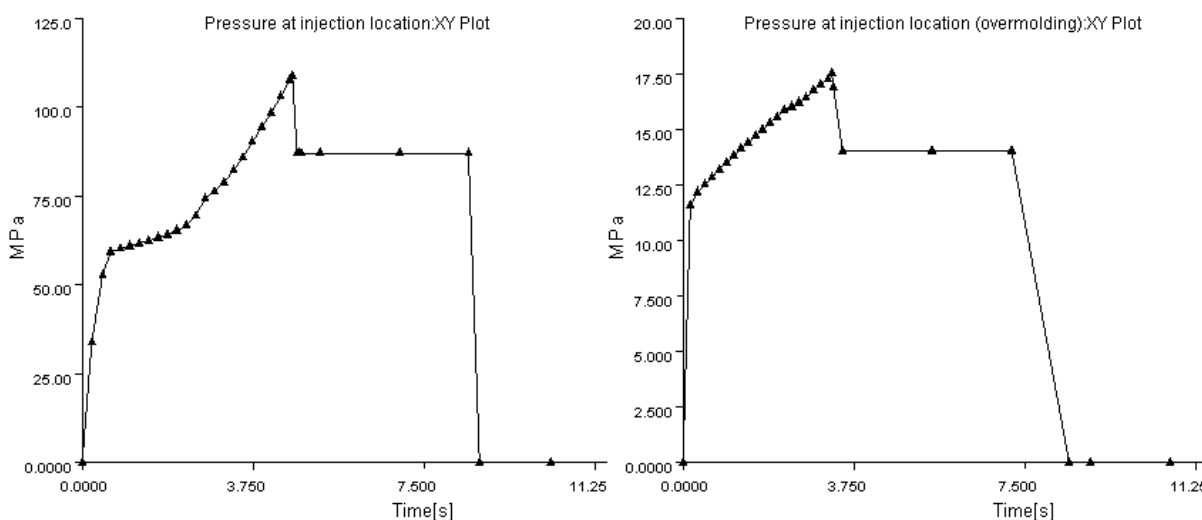


Figura 55: Simulação 3: perfis de pressão.

3. Metodologia experimental

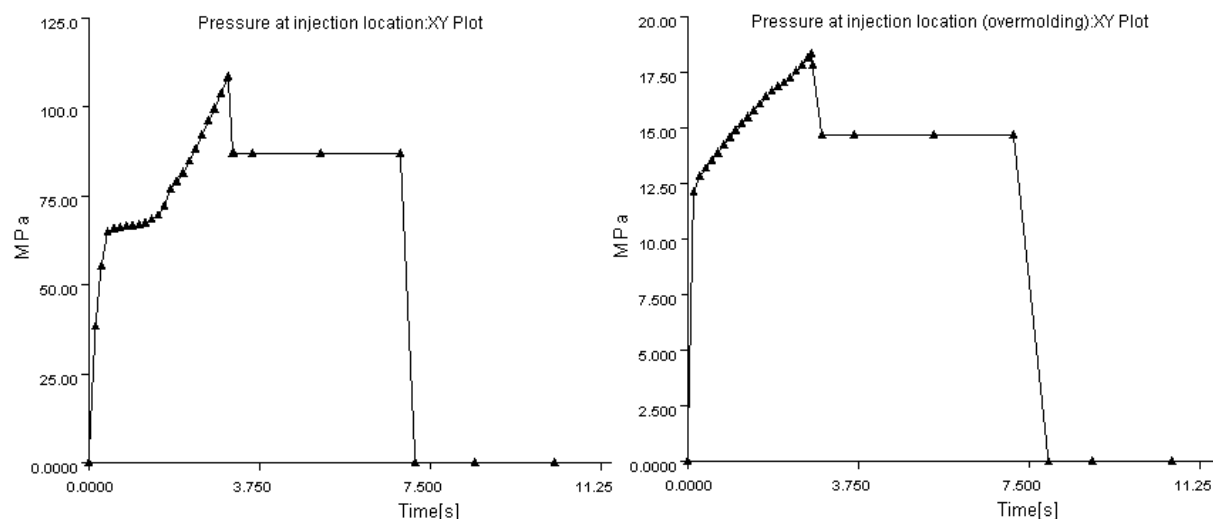


Figura 56: Simulação 4: perfis de pressão.

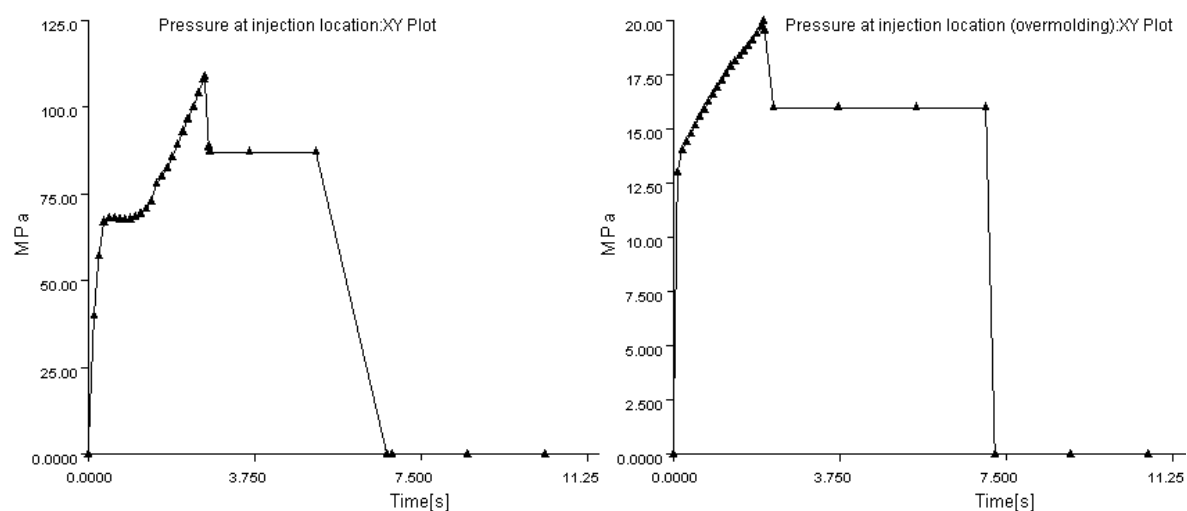


Figura 57: Simulação 5: perfis de pressão.

Tabela 24: Resultados das simulações 3, 4 e 5 (Parte 1).

Simulação		Tempo enchimento	Temperatura máxima	Tensão de corte na parede	Taxa de corte
Unidades		s	°C	MPa	s ⁻¹
PC	3	4,80	307,33	1,68	1383,22
	4	3,18	308,53	0,68	2134,70
	5	2,71	310,20	0,68	2773,39
SEBS	3	3,29	200,12	0,13	12770,00
	4	2,74	200,90	0,13	14377,00
	5	2,05	202,14	0,14	20914,00

3. Metodologia experimental

Tabela 25: Resultados das simulações 3, 4 e 5 (Parte 2).

Simulação		Pressão máxima de injeção	Comutação V/P	Contração volumétrica	Fracção arrefecida
Unidades		MPa	MPa	%	-
PC	3	108,79	108,79	7,79	0,49
	4	108,45	108,45	8,15	0,27
	5	108,77	108,77	8,29	0,23
SEBS	3	17,52	17,52	7,92	1,00
	4	18,35	18,35	7,95	1,00
	5	19,95	19,95	8,00	0,56

- Curso

Os resultados presentes na Tabela 26 e na Tabela 27 mostram que a variação do curso se reflecte em diferenças mínimas entre as simulações. O inserto melhora ligeiramente a tensão de corte e a fracção arrefecida na simulação 6. O elastómero regista o valor mais baixo de todos os resultados da sua tensão de corte na simulação 8. Contudo, esta simulação também se traduz numa fracção arrefecida de valor unitário, nada recomendável, uma vez que é uma indicação clara de que o componente não arrefece adequadamente até à temperatura de desmoldação.

Tabela 26: Resultados das simulações 6, 7 e 8 (Parte 1).

Simulação		Tempo enchimento	Temperatura máxima	Tensão de corte na parede	Taxa de corte
Unidades		s	°C	MPa	s ⁻¹
PC	6	3,81	308,08	0,68	2133,53
	7	3,83	308,11	0,69	1809,48
	8	3,84	308,10	0,69	1781,92
SEBS	6	2,34	201,65	0,13	17600,00
	7	2,35	201,59	0,13	17649,00
	8	2,89	199,62	0,12	11045,00

Tabela 27: Resultados das simulações 6, 7 e 8 (Parte 2).

Simulação		Pressão máxima de injeção	Comutação V/P	Contração volumétrica	Fracção arrefecida
Unidades		MPa	MPa	%	-
PC	6	108,24	108,24	8,02	0,34
	7	108,25	108,25	8,01	0,35
	8	108,26	108,26	8,01	0,35
SEBS	6	19,24	19,24	7,98	0,72
	7	19,20	19,20	7,98	0,72
	8	16,71	16,71	7,91	1,00

3. Metodologia experimental

No que concerne ao perfil de pressões na cavidade (Figura 58, Figura 59 e Figura 60), verifica-se que o inserto tem um comportamento semelhante ao da simulação 2 (padrão), enquanto na simulação 8 (Figura 60) o elastômero apresenta algumas oscilações que denunciam uma comutação V/P tardia.

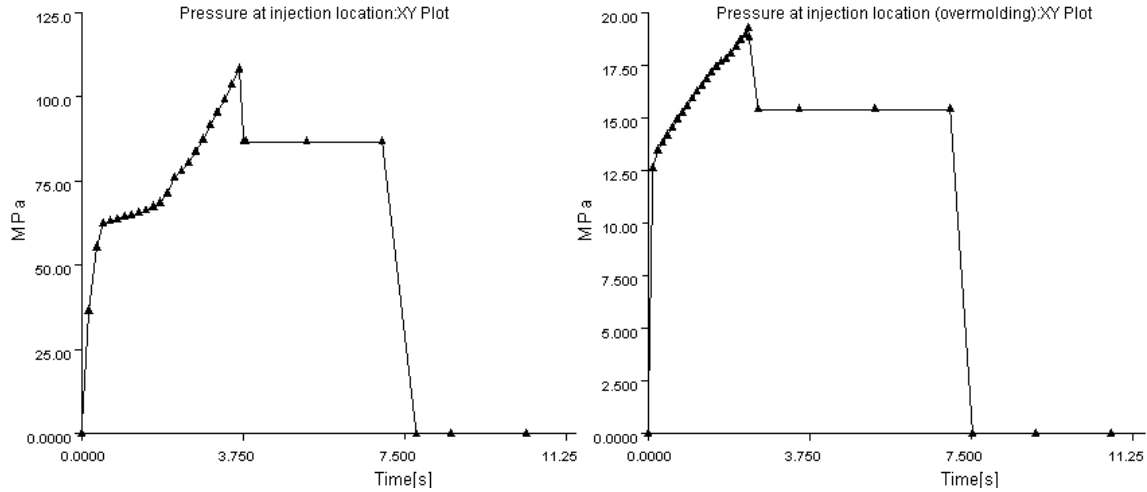


Figura 58: Simulação 6: perfis de pressão.

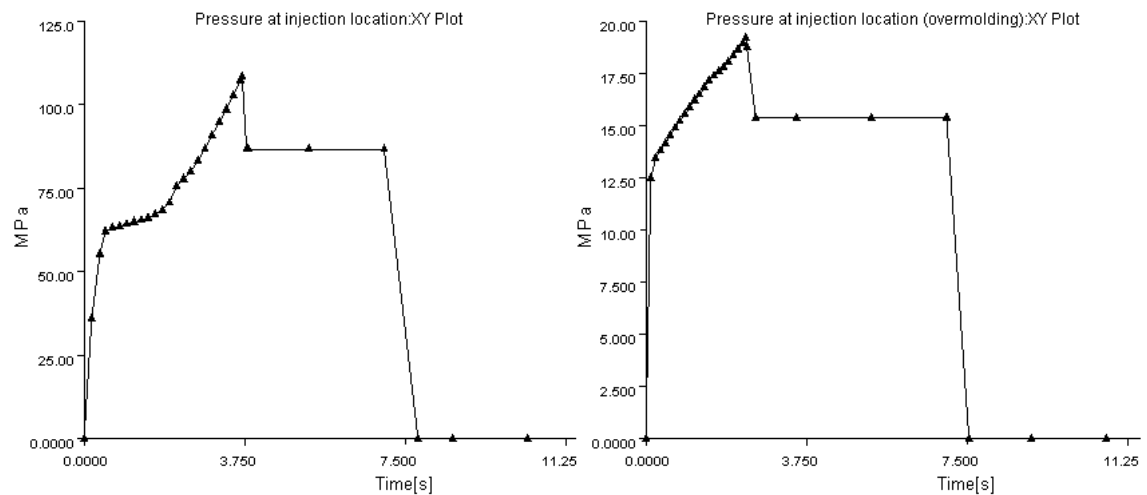


Figura 59: Simulação 7: perfis de pressão.

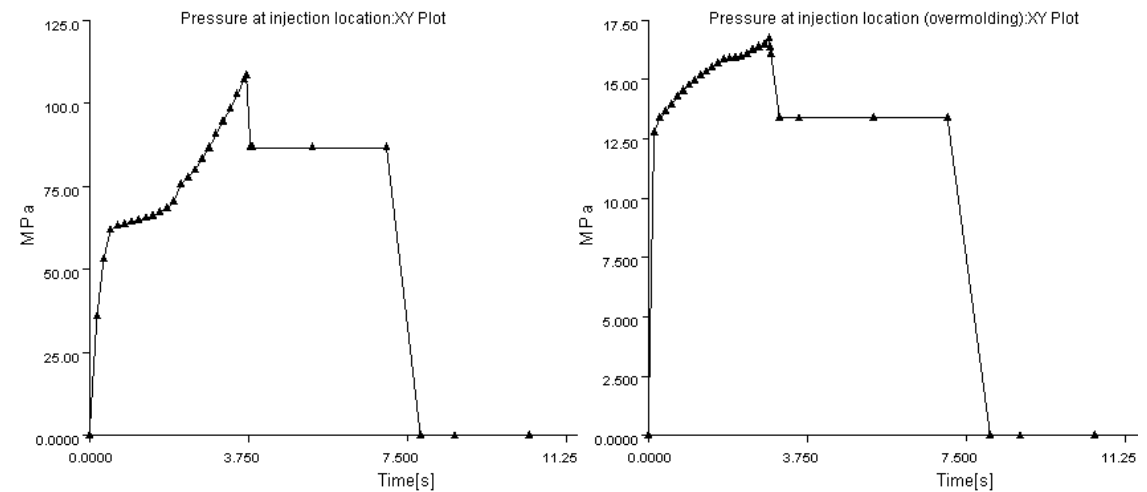


Figura 60: Simulação 8: perfis de pressão.

- Temperatura

Analisando a Tabela 28 e a Tabela 28 constata-se que à medida que a temperatura do molde do inserto aumenta, a tensão de corte e a fracção arrefecida diminuem. O mesmo não se verifica para o SEBS. O aumento da temperatura do molde traduz-se apenas na redução da fracção arrefecida, que é o factor mais determinante para o arrefecimento do elastómero. Observa-se o aumento da contracção volumétrica de ambos os componentes para temperaturas mais altas.

A temperatura de injeção do fluido é um dos parâmetros mais importantes na diminuição da tensão de corte do componente em policarbonato. As diferenças entre os resultados são muito significativas. No elastómero, este parâmetro não assume tanta importância, sendo a tensão de corte muito semelhante entre as simulações 2 (padrão), 12, 13 e 14. O comportamento da contracção volumétrica e a fracção arrefecida são parâmetros comuns aos dois polímeros: para temperaturas mais elevadas, o primeiro aumenta e o segundo diminui.

Tabela 28: Resultados das simulações 9, 10, 11, 12, 13 e 14 (Parte 1).

Simulação		Tempo enchimento	Temperatura máxima	Tensão de corte na parede	Taxa de corte
Unidades		s	°C	MPa	s ⁻¹
PC	9	3,83	308,06	0,89	1818,55
	10	3,83	308,06	0,89	1818,55
	11	3,82	308,05	0,68	1790,29
SEBS	9	2,35	201,73	0,14	17226,00
	10	2,34	201,50	0,15	18113,00
	11	2,34	201,45	0,13	17518,00
PC	12	3,80	317,40	0,64	1816,00
	13	3,79	322,05	0,61	3083,94
	14	3,78	326,70	0,58	3048,01
SEBS	12	2,34	182,00	0,14	17719,00
	13	2,34	191,74	0,14	17598,00
	14	2,35	196,67	0,14	17636,00

Tabela 29: Resultados das simulações 9, 10, 11, 12, 13 e 14 (Parte 2).

Simulação		Pressão máxima de injeção	Comutação V/P	Contração volumétrica	Fracção arrefecida
Unidades		MPa	MPa	%	-
PC	9	110,32	110,32	7,84	0,44
	10	110,32	107,58	7,84	0,44
	11	106,90	106,90	8,17	0,28
SEBS	9	19,30	19,30	7,91	1,00
	10	19,18	19,18	8,03	0,64
	11	19,15	19,15	8,06	0,56
PC	12	98,23	98,23	8,51	0,33
	13	93,41	93,41	8,69	0,32
	14	88,84	88,84	8,90	0,31
SEBS	12	19,45	19,45	7,21	1,00
	13	19,28	19,28	7,60	0,99
	14	19,26	19,26	7,80	0,81

- Pressão de manutenção

O perfil de pressões na cavidade (Figura 61, Figura 62 e Figura 63) apresenta-se dentro das expectativas.

A Tabela 30 e a Tabela 31 possuem os resultados das simulações onde se varia a pressão de manutenção e o tempo de manutenção.

Para o inserto em PC, o aumento da pressão de manutenção promove a diminuição da contração volumétrica e o aumento da tensão de corte. A pressão de manutenção da simulação 15 é responsável pelo valor mais baixo da tensão de corte tendo em conta todas as simulações efectuadas. Quanto ao SEBS, as pressões são muito semelhantes e os resultados encontram-se muito próximos uns dos outros. Regista-se apenas a maior diferença, que é na contração volumétrica, que diminui com o aumento da pressão.

O tempo de actuação da segunda pressão produz resultados idênticos entre as três simulações (18, 19 e 20) para a maioria dos parâmetros. Regista-se apenas a redução da contração volumétrica com o aumento do tempo de pressurização. A partir de um certo momento, o tempo deixa de afectar a contração do inserto, que estagna. Tempos mais curtos implicam ciclos também mais curtos, permitindo um número maior de peças produzidas no final de um dia de trabalho. Contudo, nota-se que o elastómero está mais dependente do tempo de manutenção. Ao fim dos 20 segundos, não se verifica a estagnação da contração volumétrica.

3. Metodologia experimental

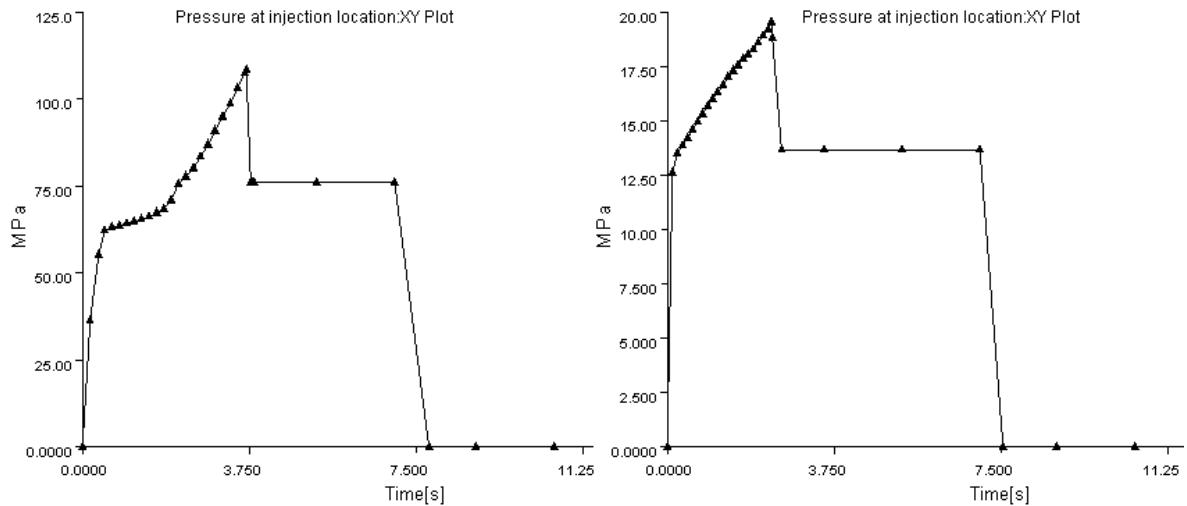


Figura 61: Simulação 15: perfis de pressão.

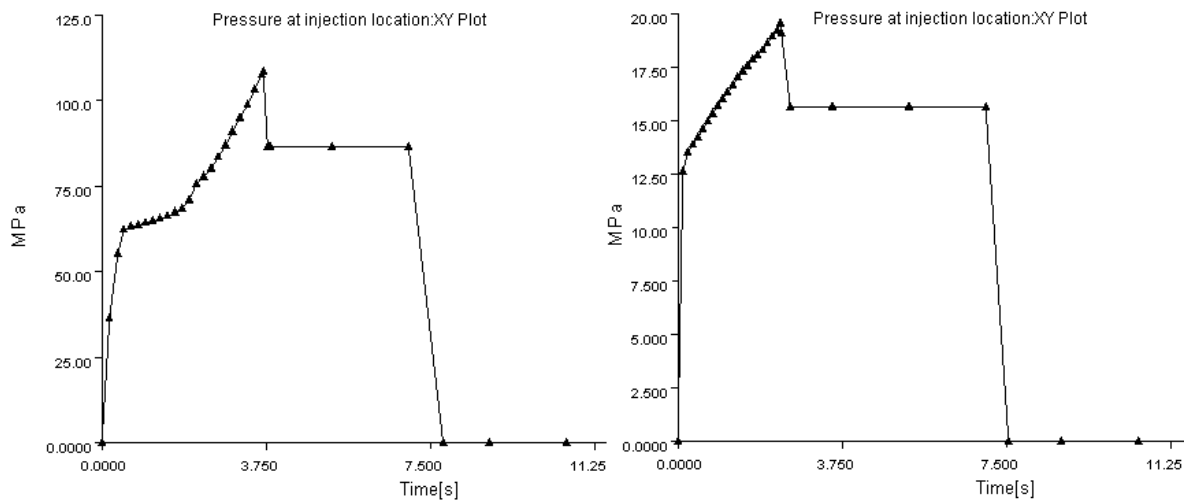


Figura 62: Simulação 16: perfis de pressão.

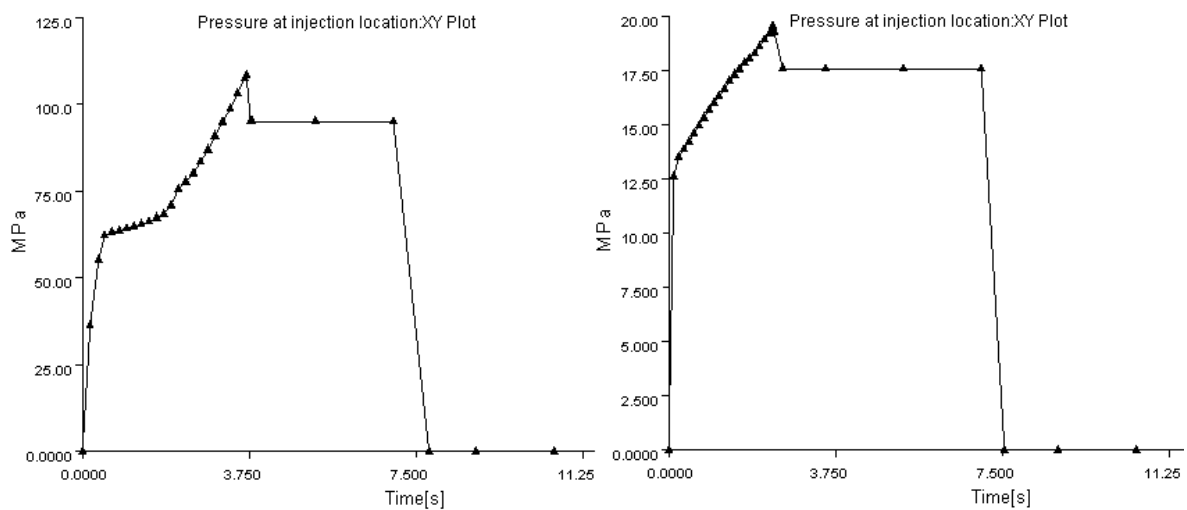


Figura 63: Simulação 17: perfis de pressão.

3. Metodologia experimental

Tabela 30: Resultados das simulações 15, 16, 17, 18, 19 e 20 (Parte 1).

Simulação		Tempo enchimento	Temperatura máxima	Tensão de corte na parede	Taxa de corte
Unidades		s	°C	MPa	s ⁻¹
PC	15	3,85	306,59	0,58	1251,19
	16	3,83	308,00	0,68	1721,02
	17	3,82	309,11	0,75	2186,45
SEBS	15	2.36	200.81	0.14	17416,00
	16	2.36	200.86	0.14	17873,00
	17	2.35	200.93	0.14	18019,00
PC	18	3,82	308,12	0,69	1807,86
	19	3,82	308,12	0,69	1807,86
	20	3,82	308,12	0,69	1807,86
SEBS	18	2,35	201,54	0,13	18262,00
	19	2,34	201,76	0,13	17137,00
	20	2,34	201,76	0,13	17137,00

Tabela 31: Resultados das simulações 15, 16, 17, 18, 19 e 20 (Parte 2).

Simulação		Pressão máxima de injeção	Comutação V/P	Contração volumétrica	Fracção arrefecida
Unidades		MPa	MPa	%	-
PC	15	108,26	108,26	8,25	0,35
	16	108,26	108,26	8,02	0,35
	17	108,26	108,26	7,83	0,34
SEBS	15	19.51	19.51	7.36	1,00
	16	19.51	19.51	7.33	1,00
	17	19.51	19.51	7.32	1,00
PC	18	108,26	108,26	7,10	0,35
	19	108,26	108,26	7,06	0,35
	20	108,26	108,26	7,06	0,35
SEBS	19	19,08	19,08	7,96	1,00
	20	19,08	19,08	7,34	1,00
	21	19,20	19,20	8,04	0,66

- Tempo de arrefecimento

O tempo de arrefecimento estudado não se traduz em resultados significativos para o desempenho do inserto, como se pode ver nos resultados apresentados na Tabela 32 e Tabela 33. Acaba por ser indiferente arrefecer 10 segundos ou 40, visto que os parâmetros são idênticos. Deste modo, pode-se aumentar a produção de insertos por

3. Metodologia experimental

hora utilizando o tempo mais reduzido. Observa-se que o SEBS contém um comportamento diferente do policarbonato, uma vez que a contracção volumétrica é afectada por um incremento do tempo de arrefecimento.

Tabela 32: Resultados das simulações 21, 22 e 23 (Parte 1).

Simulação		Tempo enchimento	Temperatura máxima	Tensão de corte na parede	Taxa de corte
Unidades		s	°C	MPa	s ⁻¹
PC	21	3,82	308,12	0,69	1807,86
	22	3,82	308,12	0,69	1807,86
	23	3,82	308,12	0,69	1807,86
SEBS	21	2,35	201,65	0,14	17581,00
	22	2,35	201,53	0,14	17137,00
	23	2,35	201,59	0,14	17137,00

Tabela 33: Resultados das simulações 21, 22 e 23 (Parte 2).

Simulação		Pressão máxima de injeção	Comutação V/P	Contracção volumétrica	Fracção arrefecida
Unidades		MPa	MPa	%	-
PC	21	108,26	108,26	8,02	0,35
	22	108,26	108,26	8,02	0,35
	23	108,26	108,26	8,02	0,35
SEBS	21	19,08	19,08	8,04	1,00
	22	19,08	19,08	7,98	1,00
	23	19,08	19,08	7,97	1,00

Por fim, encontram-se sumarizadas na Tabela 34 e na Tabela 35 as principais alterações provocadas pela variação dos parâmetros ao longo das diversas simulações.

Tabela 34: Propriedades afectadas pela alteração dos parâmetros entre simulações (PC).

Tempo enchimento	Tensão de corte	Contracção volumétrica	Fracção arrefecida
Curso pequeno (diminui)	Velocidade de injeção pequena (aumenta)	Tempo de manutenção maior (diminui)	Velocidade de injeção alta (diminui)
Velocidade de injeção alta (diminui)	Pressão de manutenção menor (diminui)	Velocidade de injeção pequena (diminui)	Temperatura do molde alta (diminui)
	Temperatura de injeção alta (diminui)	Pressão de manutenção maior (diminui)	Temperatura do molde baixa (aumenta)
		Temperatura de injeção alta (aumenta)	Velocidade de injeção pequena (aumenta)

Tabela 35: Propriedades afectadas pela alteração dos parâmetros entre simulações (SEBS).

Tempo enchimento	Tensão de corte	Contração volumétrica	Fracção arrefecida
Curso pequeno (diminui)	Curso grande (diminui)	Temperatura de injeção baixa (diminui)	Velocidade de injeção alta (diminui)
Velocidade de injeção superior (diminui)	Pressão de manutenção menor (diminui)	Tempo de manutenção maior (diminui)	Temperatura do molde maior (diminui)
	Temperatura do molde alta (diminui)	Pressão de manutenção menor (aumenta)	Curso grande (aumenta)
	Velocidade de injeção alta (aumenta)	Temperatura do molde maior (aumenta)	

3.10 Optimização do perfil de injeção

Tabela 36: Simulação 24: Perfil de injeção ideal.

1665 (PC)		1666 (SEBS)	
Curso	Velocidade	Curso	Velocidade
mm	mm s ⁻¹	mm	mm s ⁻¹
220	50	190	60
Tempo	Pressão	Tempo	Pressão
s	Bar	s	Bar
7	8	20	1.5
Temperatura de injeção do fluido (°C)			
315		195	
Temperatura do molde (°C)			
95		40	
Tempo de arrefecimento (°C)			
10		40	

Após uma análise exaustiva aos parâmetros de todas as simulações efectuadas, escolheu-se um perfil de injeção que permita corrigir os problemas verificados nos componentes. No que diz respeito ao inserto, escolheu-se o curso e velocidade de injeção da simulação padrão 2. Apesar das melhorias registadas para velocidades superiores, o perfil de pressões não era satisfatório (Figura 57). As alterações de curso

não produziram mudanças significativas nos resultados. Por outro lado, a pressão de manutenção e o tempo de manutenção melhoram consideravelmente as propriedades do componente produzido. Recorrendo a 70% (simulação 15) da pressão máxima, que corresponde à pressão hidráulica de cerca de 8 bar, a tensão de corte máxima no componente baixa significativamente. É um dado muito importante, visto que esta propriedade se encontra fora dos limites permitidos pelo material. Ao aumentar o tempo de manutenção de 4 para 7 segundos (simulação 18), a contracção volumétrica é menor. A temperatura de injeção mais elevada (simulação 14) assume tanta importância quanto a pressão de injeção na redução da tensão de corte. A fracção arrefecida diminui substancialmente quando a temperatura do molde aumenta, pelo que se deve aquecer até aos 95°C (simulação 11) para obter os melhores resultados. O policarbonato não é afectado pelos tempos de arrefecimento estudados, pelo que se opta por obter o ciclo de produção mais curto possível (10s – simulação 21).

O componente em SEBS apresenta outro tipo de comportamento durante o ciclo de moldação. Quanto à velocidade de injeção, opta-se pelo parâmetro da simulação 4 (60mm^s⁻¹). Quanto maior a velocidade, maior é o risco de formação de queimados durante o ciclo de moldação do elastómero, uma vez que os gases não têm tempo suficiente para escapar. Por outro lado, a fracção arrefecida é excessiva quando a velocidade é reduzida (simulação 3). Esta decisão não é desprovida de controvérsia, visto que ambas podem incutir falhas na peça. Contudo, considera-se que um eventual problema na libertação de gases seja mais importante de evitar, essencialmente por originar defeitos visíveis, pelo que se opta por efectuar à velocidade mais baixa.

Exceptuando a simulação 8 (210mm), que se exclui não conferir estabilidade ao processo, o curso não tem grande influência nos resultados, pelo que se optou por manter o valor da simulação padrão 2. A pressão de injeção mais adequada situa-se nos 80% (simulação 16) da pressão máxima, o que equivale a uma pressão hidráulica de 1.5 bar. O tempo de manutenção será significativamente maior (20s – simulação 20), fruto da influência provocada na contracção volumétrica. À medida que a temperatura de injeção aumenta, a fracção arrefecida melhora substancialmente. Deste modo optou-se pelo valor testado na simulação 2 (padrão), que é o mais elevado. O aumento da temperatura do molde também ajuda a melhorar a fracção arrefecida e como tal implementou-se o parâmetro estudado na simulação 11 (40°C). Por fim, contrariamente ao sucedido no inserto de PC, o SEBS mostra-se influenciável pelo tempo de arrefecimento, nomeadamente na melhoria da contracção volumétrica, pelo que se opta por recorrer ao tempo maior (40s – simulação 23).

3.10.1 Discussão de resultados

Analisando os resultados da simulação 24 (otimizada), presentes na Tabela 37 e na Tabela 38, verifica-se uma melhoria substancial face à simulação 2 (padrão). Propriedades como temperatura, pressão, tempo e taxa de corte encontram-se dentro dos limites esperados. Contudo, a tensão de corte do inserto é ligeiramente superior aos limites do polímero, bem como a fracção arrefecida de ambos os componentes. Se por um lado a fracção arrefecida do inserto não é significativa para a estabilidade da peça, o mesmo pode não acontecer para o SEBS, superando os 0,25 recomendados pelo Moldflow®.

3. Metodologia experimental

Tabela 37: Resultados da simulação 24 (1).

Simulação	Tempo enchimento	Temperatura máxima	Tensão de corte na parede	Taxa de corte
Unidades	s	°C	MPa	s ⁻¹
PC	3,66	327,39	0,62	3865,07
SEBS	2,74	200,78	0,13	14970,00

Tabela 38: Resultados da simulação 24 (2).

Simulação	Pressão máxima de injeção	Comutação V/P	Contração volumétrica	Fracção arrefecida
Unidades	MPa	MPa	%	-
PC	87,63	87,63 (97,61%)	7,86	0,25
SEBS	18,24	18,24 (99,03%)	6,94	0,73

Na Figura 64 assinala-se a localização dos problemas de arrefecimento no elastómero. A zona indicada pela seta é a única que apresenta problemas de arrefecimento, ao longo de todas as simulações estudadas. Pode provocar deformações/empenos não desejáveis na peça.

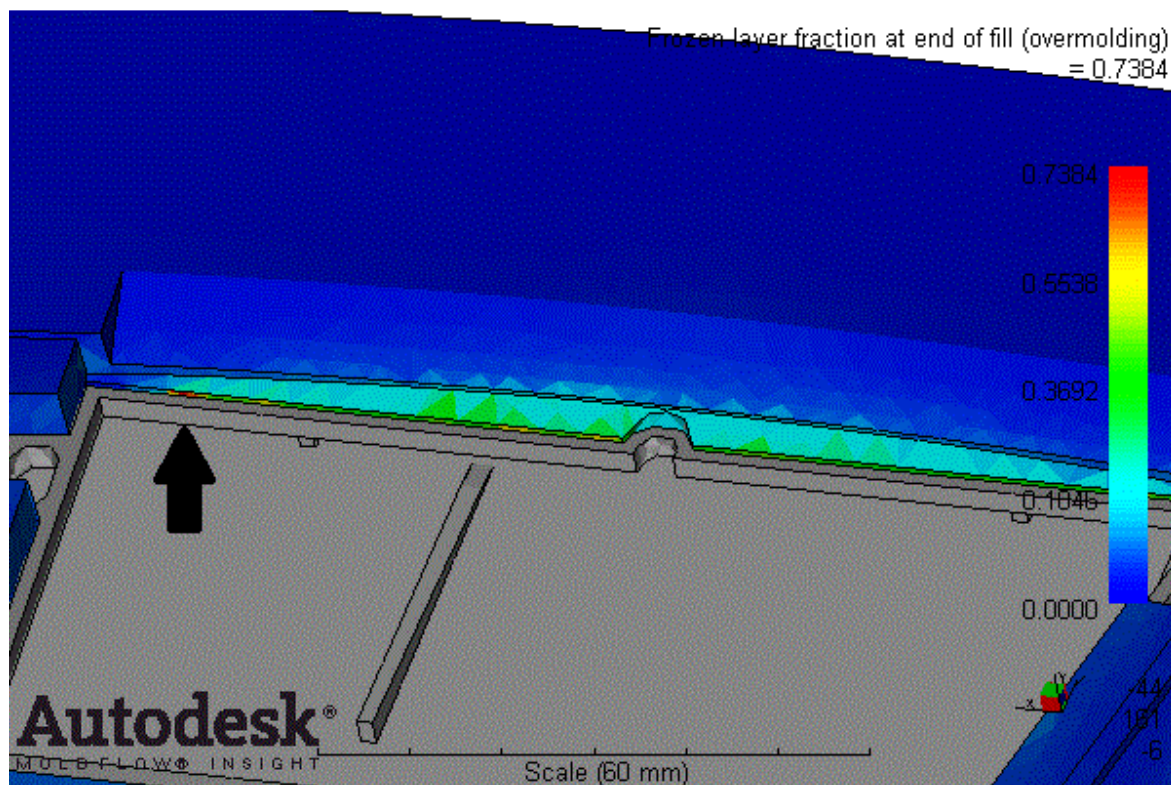


Figura 64: Região do elastómero onde a fracção arrefecida apresenta o valor máximo (assinalado pela seta).

O perfil de pressões na cavidade (Figura 65 e Figura 66) segue o comportamento estudado em 3.9, para as respectivas seleções de velocidade, tal como se esperava.

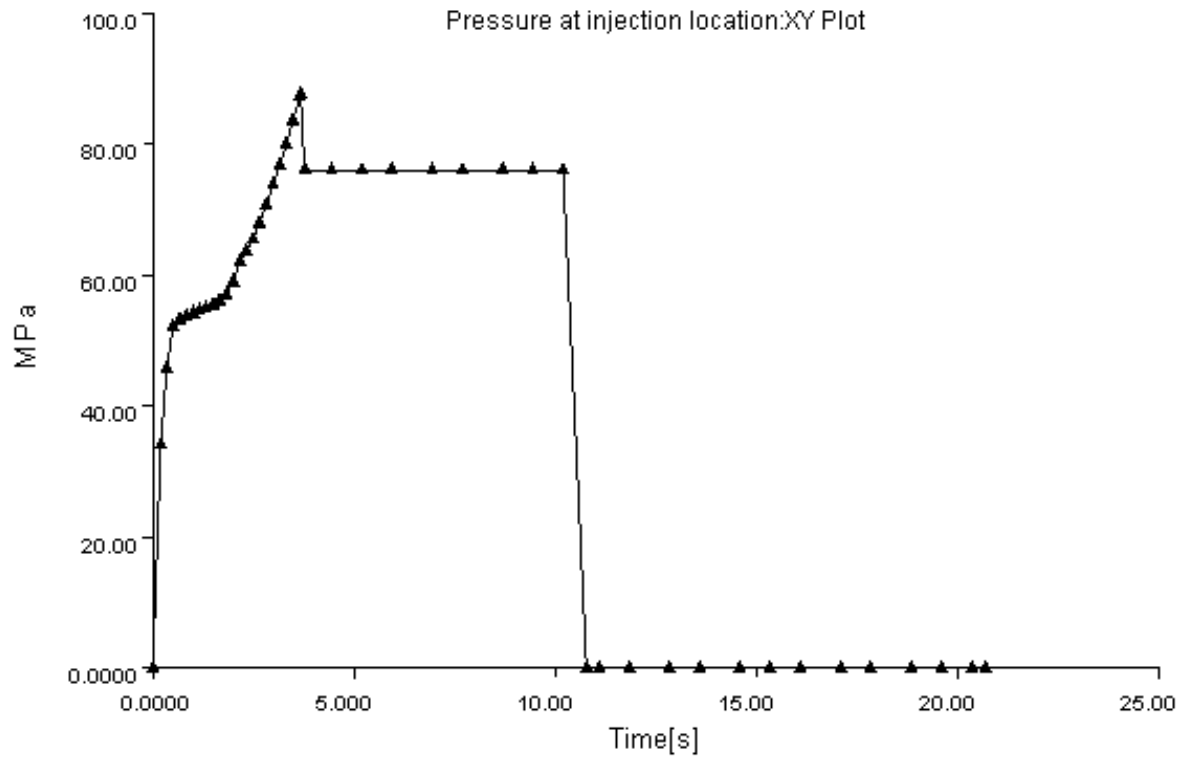


Figura 65: Simulação 24: perfil de pressões do PC.

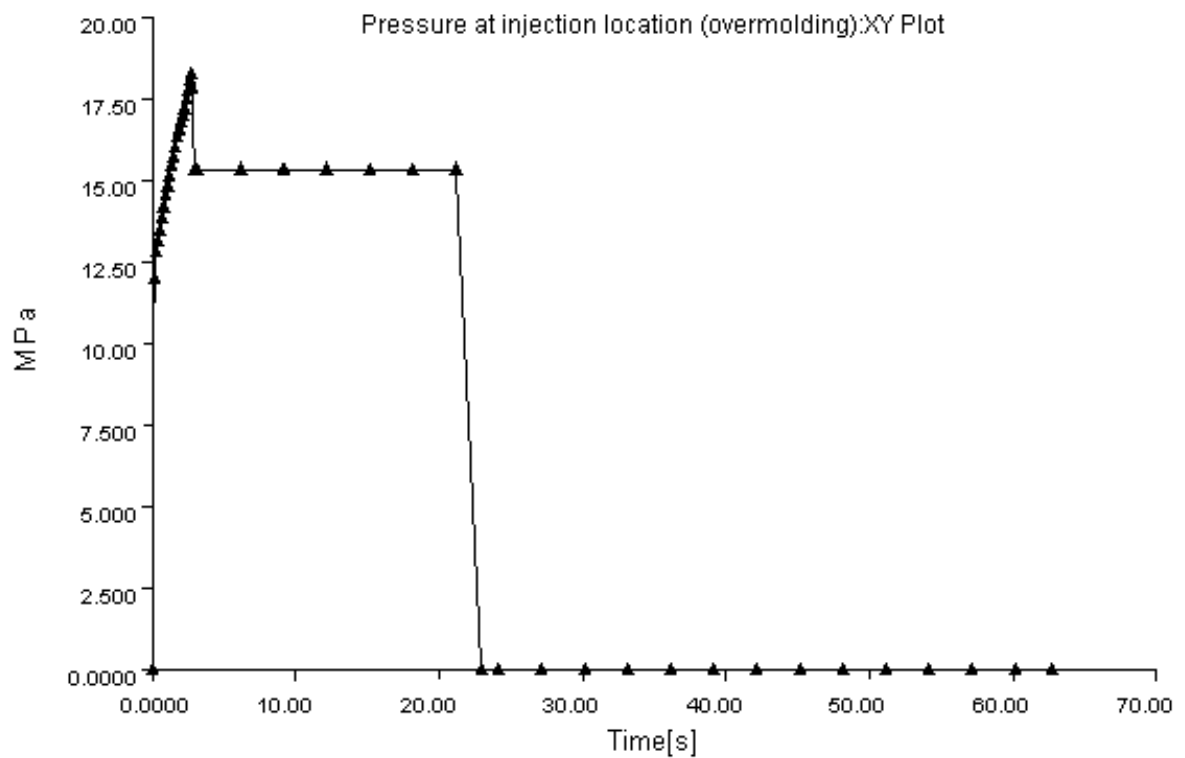


Figura 66: Simulação 24: perfil de pressões do SEBS.

3.11 Influência dos resultados teóricos na produção final

É com satisfação que se constata que o perfil de injeção apresentado em 3.10 resolveu praticamente todos os problemas de injeção dos componentes em PC e SEBS. Do perfil ideal, obtido por ferramentas computacionais, para o perfil real de produção final apenas difere na pressão hidráulica programada na máquina de injeção para o SEBS e no tempo de manutenção que foi reduzido para 10s. Reduziu-se esse parâmetro dos 15 para os 10bar, devido à formação de algumas estrias durante a fase de compactação. Após esta alteração, começou-se a produzir peças com a qualidade final pretendida. Durante a tiragem das primeiras peças verificou-se que ao utilizar um tempo de manutenção mais curto, neste caso dez segundos, a qualidade do componente elastomérico se mantinha. Toda a informação relacionada com o perfil utilizado durante a fase de produção encontra-se no Anexo 8.

Avaliando a Figura 67 e a Figura 68 confirma-se que as estrias, os queimados, os chupados e a hesitação verificados para o SEBS em 3.2 deixa de existir.



Figura 67: Produção da peça final (1).



Figura 68: Produção da peça final (2).

3.12 Análise de empenos

No Moldflow®, as ferramentas de simulação numérica do processo de sobre-moldação apresentam algumas limitações associadas ao tipo de malha seleccionada. Portanto, para uma simulação numérica com uma malha do tipo *Dual Domain* não é possível efectuar uma análise aos empenos. Contudo, para uma malha do tipo 3D, é possível estudar esse parâmetro.

Uma malha 3D representa o modelo CAD preenchendo o volume do modelo com elementos tetraédricos de quatro nós. É uma boa solução para componentes sólidos ou de espessura elevada porque esta malha consiste numa representação tridimensional verdadeira do modelo. Contudo, não tem as mesmas assunções das análises em malhas do tipo *Dual Domain* ou *Midplane* e requiere mais tempo de processamento. Para este caso de estudo, apenas existe interesse em utilizar este tipo de malha para uma análise aos empenos. Deste modo, converteu-se o modelo para uma malha 3D com o auxílio das ferramentas existentes no Moldflow®.

A simulação 25 corresponde à implementação do perfil de injeção da simulação 24 (otimizada) no Moldflow®, recorrendo a uma malha do tipo 3D. Por conseguinte, é possível analisar os empenos da etapa de optimização.

Dos resultados obtidos, regista-se um desvio máximo de cerca de 2,5mm nas extremidades da peça (Figura 69). Um valor tão elevado é propício a empenos e os valores maiores verificam-se para o elastómero.

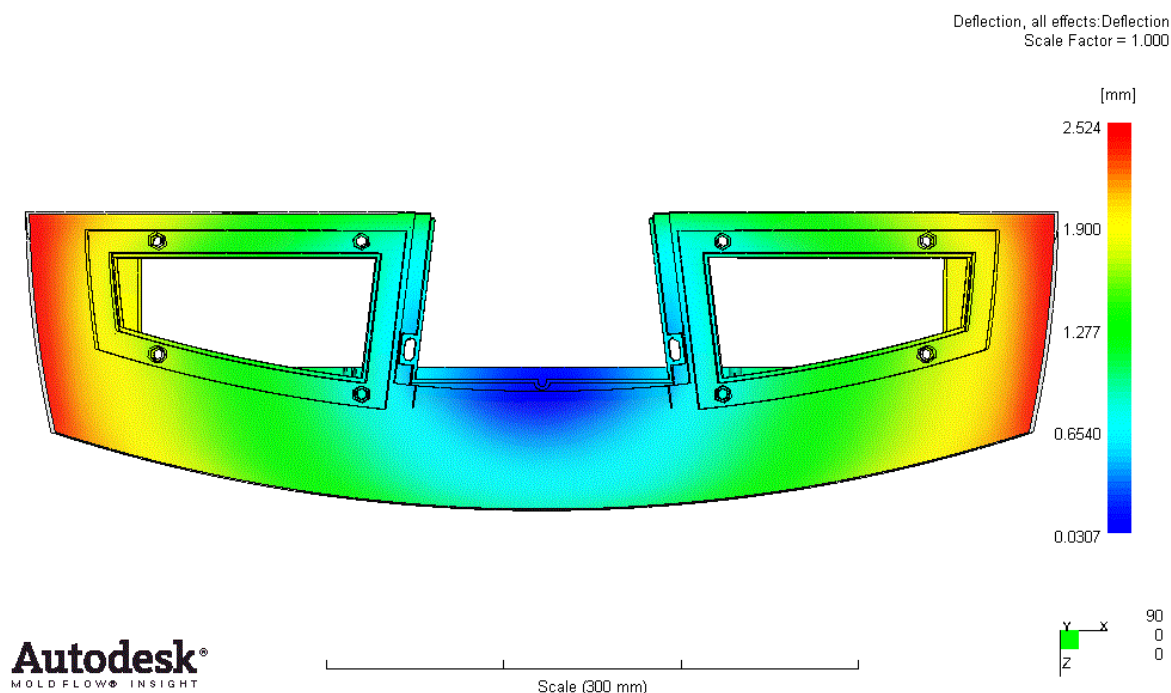


Figura 69: Resultado da simulação 25 para a análise de empenos, com base no desvio tridimensional dos nós.

Em 2.2.7.1 comentou-se que os empenos dependem fortemente da contracção verificada na peça. Este resultado demonstra que a peça tem tendência para empenar, visto que 2,5mm é um valor demasiado elevado. Contudo, durante a fase de projecto de um molde é usual considerar-se as contracções de cada material na elaboração das moldações, de forma a compensar estes desvios dimensionais. Por este motivo, a peça passou todos os requisitos de qualidade do cliente, que encaixou a peça na máquina de casino sem que se verificasse qualquer contrariedade, como por exemplo, furos de centragem fora de cota.

Apesar de a empresa Prifer Moldes encaminhar a peça para a etapa de produção após a análise crítica aos resultados de 3.10, não deixa de ser importante continuar a aprofundar o estudo da peça em causa. Deste modo, pretende-se obter os parâmetros de injeção que proporcionam maiores empenos na peça.

Já foram apontados os parâmetros que mais afectam a contracção em 2.2.7.1 e como tal, realizaram-se algumas simulações numéricas (Tabela 39) fazendo variar a pressão, temperatura e tempo relativamente à simulação de optimização.

Uma vez que a pressão de manutenção do PC era de 70%, optou-se por testar a influência deste parâmetro recorrendo a 80% da pressão máxima de injeção. Para o SEBS, ocorreu o fenómeno inverso. Alterou-se os 80% iniciais para os 70%.

No que concerne ao tempo de manutenção, modificou-se o perfil de injeção de ambos para os 10 segundos. Recorde-se que a fase de pressurização ideal do PC consome 7 segundos, enquanto o SEBS 20.

3. Metodologia experimental

Quanto à temperatura do molde e à temperatura de injeção (simulação 28 e 29), ambos os polímeros são processados à temperatura mais elevada dos seus intervalos, pelo que se optou por descer 10 °C em cada parâmetro.

Por fim, o tempo de arrefecimento utilizado na simulação 30 é de 20 segundos. Para o inserto em PC houve um aumento para o dobro, ao passo que para o elastómero reduziu-se para metade.

Tabela 39: Definição das simulações inerentes ao estudo dos empenos.

Simulação	Factor	Valor dos parâmetros
26	Pressão de manutenção	PC – 80% SEBS – 70%
27	Tempo de manutenção	PC – 10 s SEBS – 10 s
28	Temperatura do molde	PC – 85 °C SEBS – 30 °C
29	Temperatura de injeção	PC – 305 °C SEBS – 185 °C
30	Tempo de arrefecimento	PC – 20 s SEBS – 20 s

Na Tabela 40 encontra-se um resumo dos resultados obtidos com o intuito de estudar os empenos da peça. Para todas as simulações ocorrem desvios dimensionais elevados, à margem do que também se verificou na simulação 25, e que porventura podem interferir com o normal funcionamento da peça no seu ambiente de trabalho. Esta análise permite compreender a importância da contracção no processo de moldação por injeção. Comparando os resultados de todas as simulações efectuadas, verifica-se os valores obtidos para os desvios se encontram muito próximos entre si, pelo que os possíveis ganhos obtidos com outros parâmetros são mínimos. Como o elastómero é o componente onde os desvios são maiores, os seus parâmetros acabam por ditar as oscilações verificadas entre as simulações. Na simulação 26, verifica-se que o aumento da pressão de manutenção no elastómero diminui o desvio. Quanto ao tempo de manutenção (simulação 27), a diminuição para 10 segundos produz o mesmo efeito. No que concerne à temperatura, o desvio é menor para temperaturas intermédias no intervalo inerente a cada polímero, algo que era expectável analisando a Figura 23 e Figura 24 (Página 30). Por fim, o tempo de arrefecimento não trouxe nenhuma melhoria nos desvios, fruto também da diminuição do tempo de arrefecimento do elastómero que, tal como explicado numa fase anterior, a contracção diminui para tempos mais longos.

Tabela 40: Resultados inerentes aos desvios dimensionais da peça.

Simulação	Factor	Desvio dimensional (mm)
26	Pressão de manutenção	2,45
27	Tempo de manutenção	2,45
28	Temperatura do molde	2,45
29	Temperatura de injeção	2,44
30	Tempo de arrefecimento	2,52

3.13 Visualização das tensões residuais

De seguida, pretendem-se analisar as tensões residuais presentes na peça, para tal, procede-se à análise do cálculo inerente às tensões residuais resultantes da simulação numérica do processo de obtenção das peças poliméricas provenientes da simulação 25. Recorrendo à interface Moldflow® Structural Alliance consegue-se compatibilidade entre o Moldflow® e o Abaqus®, que é uma ferramenta computacional de análise estrutural e simulação numérica, é possível criar a base de dados no Moldflow® executando o script em *Visual Basic* “mpi2abq.vbs” e, por conseguinte, abri-la no Abaqus®.

Na Figura 70 e na Figura 71 encontram-se a distribuição de tensões residuais no inserto em PC e no elastómero, respectivamente. As tensões encontram-se distribuídas uniformemente e os seus valores mais elevados ocorrem no interior dos componentes.

Em teoria, um material começa a ceder nos locais onde a tensão de von Mises atinge a tensão de ruptura, sendo assim possível prever os pontos com maior probabilidade de ocorrência de dano estrutural.

Quanto ao policarbonato, constata-se que a tensão de von Mises máxima é de cerca de 64 MPa ao passo que no elastómero é de 1.15 MPa.

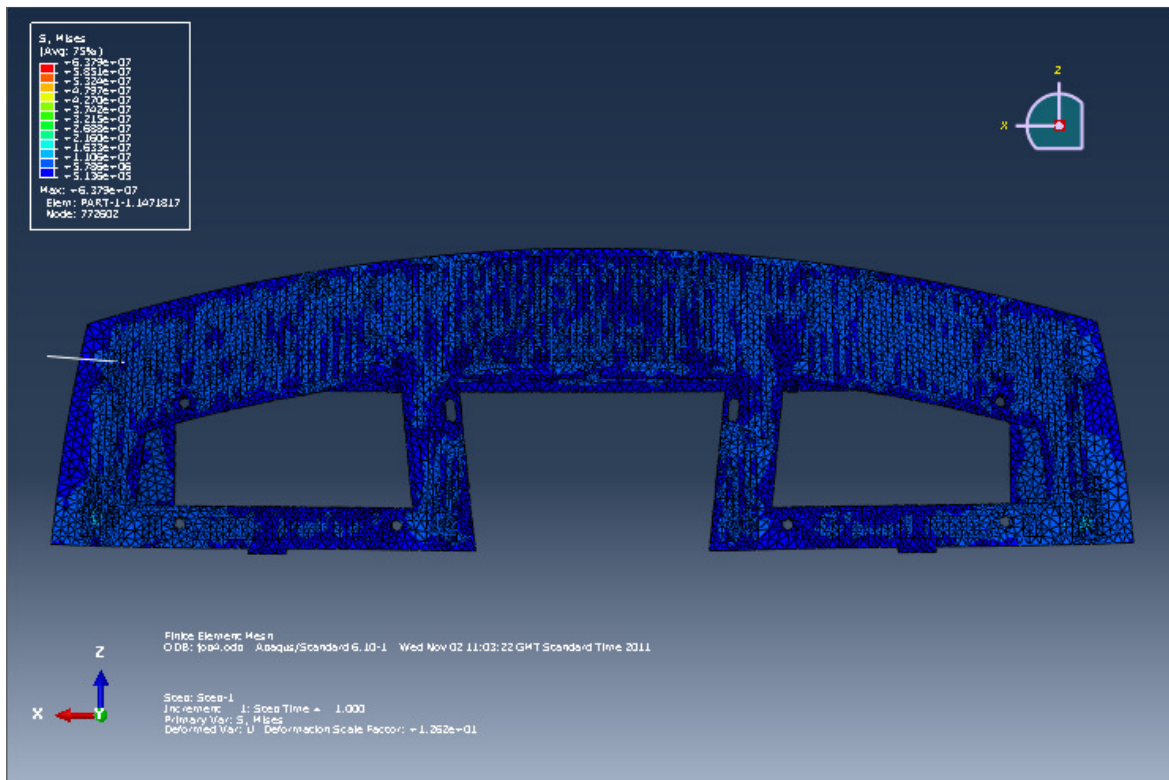


Figura 70: Distribuição das tensões de von Mises no Inserto em PC.

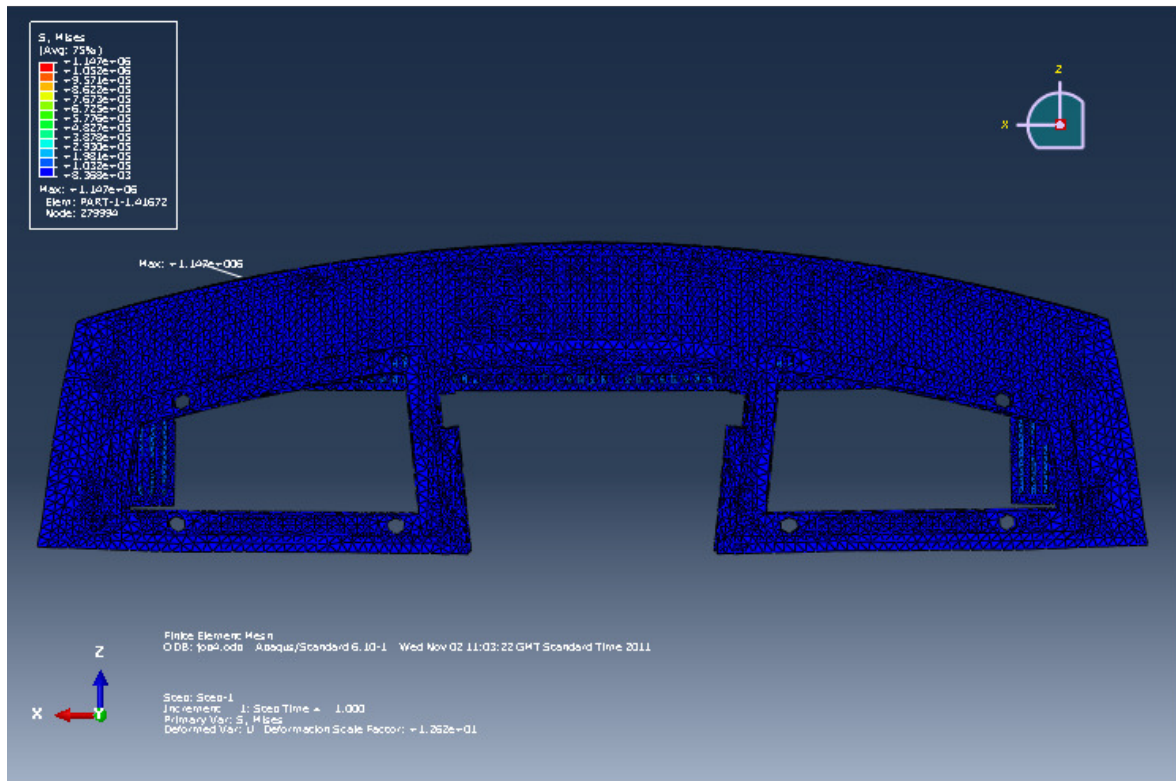


Figura 71: Distribuição das tensões de von Mises no componente em SEBS.

Com o intuito de estabelecer uma comparação com as tensões residuais verificadas na peça, é necessário consultar a ficha técnica dos polímeros em causa (Anexo 2 e 4). Para o policarbonato utilizado ao longo do processo de simulação numérica, constata-se que o inserto em policarbonato não se encontra comprometido do ponto de vista estrutural. A tensão de ruptura que o caracteriza é de 65MPa, superior aos 64MPa observados no Abaqus® (Figura 70). Contudo, a diferença entre as duas tensões é mínima, sendo aconselhável corrigir esta situação no futuro, uma vez que estes pontos são limitações estruturais do inserto. Já o componente em SEBS, com uma tensão de ruptura de entre 6 e 9 MPa (varia consoante a orientação do fluxo), a margem de segurança é significativamente maior, pelo que do ponto de vista estrutural a peça sobre-moldada não apresenta risco iminente de ruptura durante o seu ciclo de vida.

Esta análise é importante para constatar que há viabilidade estrutural para um uso mais intensivo desta peça.

Capítulo 4 – Conclusões e perspectivas de trabalhos futuros

4.1 Conclusões

No presente trabalho concluiu-se que as ferramentas computacionais são muito importantes para o processo de injeção por sobre-moldação. É possível reduzir custos e tempo e aumentar a produtividade.

Sugeriu-se um perfil de injeção para realizar o processo de injeção da peça após estudar os parâmetros que afectam o ciclo. Os resultados práticos obtidos são satisfatórios, visto que se obteve peças funcionais.

Por vezes, no momento de escolher os parâmetros mais adequados existem divergências. Para o caso do elastómero, encontram-se vantagens em recorrer a velocidades altas. No entanto, os problemas relacionados com as fugas de gases que surgiram durante os ensaios, em testes com ciclos mais curtos, permitem antecipar o resultado da utilização de velocidades mais elevadas.

A adesão entre os dois polímeros depende da área de contacto entre ambos. Adicionando nervuras ao inserto, há mais superfícies em contacto com o elastómero. O redesign da peça é essencial para obter uma adesão satisfatória no produto final.

O policarbonato é um termoplástico que não responde bem quando injectado a velocidades muito baixas, uma vez que a tensão de corte aumenta significativamente. Recomenda-se a sua injeção à temperatura mais elevada, traduzindo-se num alívio de tensão de corte significativo. Para este componente, utilizou-se uma pressão de manutenção de cerca de 70% da pressão máxima de injeção. É um parâmetro que diminui substancialmente a tensão de corte e a contracção volumétrica.

O SEBS é um elastómero que depende bastante da temperatura do molde. A fracção arrefecida e a tensão de corte são influenciadas por este parâmetro. Quanto maior a temperatura, melhores são os resultados. O aumento da velocidade de injeção provoca o aumento da tensão de corte e a diminuição da fracção arrefecida. Responde bem a pressões hidráulicas abaixo dos 80%.

A análise de empenos revela uma importância significativa face aos elevados desvios dimensionais observados. Deste modo, é sempre importante que todos os modelos sejam acautelados por compensações na face de projecto.

Com a visualização das tensões internas no Abaqus® conclui-se que a peça apresentada possui estabilidade estrutural para garantir uma utilização eficiente, verificando-se apenas que para condições extremas de funcionamento o risco de ruptura é maior por parte do inserto em PC.

Conclui-se que o PC e o SEBS são dois polímeros compatíveis. Apesar de algumas dificuldades durante o processo de sobre-moldação, obteve-se uma peça funcional.

4.2 Perspectivas de trabalhos futuros

Neste projecto encontram-se algumas lacunas que são responsáveis por parte das dificuldades ao longo da fase de produção. A escolha da matéria-prima não parece ser a mais adequada. O SEBS não é um material fácil de injectar em modelos muito irregulares. O TPU oferece melhor acabamento superficial e melhor resistência aos riscos que advêm da utilização do componente, mas por outro lado a sua superfície é significativamente mais dura. Um dos objectivos da peça é prevenir que os utilizadores da máquina de casino se magoem e este polímero não apresenta um desempenho tão bom quanto o SEBS neste aspecto. Esta proposta foi apresentada ao cliente e decidiu-se pela utilização de TPU noutros projectos que estavam numa fase inicial. No entanto, optou-se por continuar com o SEBS neste projecto, uma vez que se encontra numa fase muito avançada.

Outra proposta apresentada ao cliente incide na simplificação geométrica do modelo. Como referido em 3.9.6, pequenas simplificações podem traduzir-se em ganhos significativos na qualidade e estabilidade do modelo. É aconselhável implementar algumas modificações estruturais ao modelo para as próximas versões da máquina de casino, fruto da interpretação dos resultados das tensões residuais no Abaqus®, uma vez que a estabilidade da peça em ambientes de trabalho rigorosos pode ficar comprometida.

Bibliografia

1. Alves, P.S.F.F., Shrinkage and Warpage Behaviour on Injection Moulding Parts, 2008, Universidade do Minho.
2. Cunha, A., Manual do projectista para moldes de injeção de plástico, Centimfe, Editor 2003.
3. Muccio, E.A., Plastics processing technology, 1994, ASM International.
4. Smith, W.F., Princípios de ciência e engenharia de materiais, 1998, McGraw-Hill.
5. Zhil'tsova, T.V., et al., Numerical Simulation of a PBT Component with Molded-in Metal Insert, in PMI 2008 - 3rd International Conference on Polymers & Moulds Innovations2008: University College Ghent, Belgium.
6. Hansen, M., Overmolding: A Multifaceted Medical. Medical Device & Diagnostic Industry, 2006.
7. Grujicic, M., et al., An overview of the polymer-to-metal direct-adhesion hybrid technologies for load-bearing automotive components. Journal of Materials Processing Technology, 2008. 197(1-3): p. 363-373.
8. Avery, J., Injection molding alternatives: a guide for designers and product engineers, 1998, Hanser Verlag.
9. Silva, L.A.R.d., Modelação do transporte de fluídos newtonianos e newtonianos generalizados. Aplicações em injeção de polímeros., in Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto2001, Universidade do Porto.
10. Dowling, N.E., Mechanical behavior of materials: engineering methods for deformation, fracture, and fatigue, 2007, Prentice Hall.
11. Bhowmick, A.K. and H.L. Stephens, Handbook of elastomers, 2001, M. Dekker.
12. Harper, C.A., Handbook of plastics, elastomers, and composites, 2002, McGraw-Hill.
13. Findley, W.N., J.S. Lai, and K. Onaran, Creep and relaxation of nonlinear viscoelastic materials: with an introduction to linear viscoelasticity, 1989, Dover.
14. Haddad, Y.M., Viscoelasticity of engineering materials, 1995, Chapman & Hall.
15. Kreith, F., Mechanical Engineering Handbook CRCnetBASE, 1999, Taylor & Francis Group.
16. Tadmor, Z. and C.G. Gogos, Principles of polymer processing, 2006, Wiley-Interscience.

17. Lee, L.H., Fundamentals of adhesion, 1991, Plenum Press.
18. Moldflow Corporation, 2010.
19. Weng, C., W.B. Lee, and S. To, A study of the relevant effects on the maximum residual stress in the precision injection moulding of microlens arrays. Journal of Micromechanics and Microengineering, 2010. 20(3): p. 035033.
20. Weng, C., et al., Numerical simulation of residual stress and birefringence in the precision injection molding of plastic microlens arrays. International Communications in Heat and Mass Transfer, 2009. 36(3): p. 213-219.

Anexos

Anexo 1 – Ficha técnica: Sabic® PC 1000R Resin

Anexo 2 – Ficha técnica: SEBS VS21030811- CJP Sales Ltd

Anexo 3 – Ficha técnica: Ferromatik K-TEC 250 S

Anexo 4 – Ficha técnica: Inautom Euro Inj D-400

Anexo 5 – Perfil de injeção: pré-produção

Anexo 6 – Perfil de injeção: produção

Anexo 7 – Ficha técnica: Sabic Innovative Plastics Japan LLC - Lexan 945

Anexo 8 – Ficha técnica: Multiflex G 75 A 520

Anexo 1 – Ficha técnica: Sabic® PC 1000R Resin

**Anexo 2 – Ficha técnica: Sabic Innovative Plastics Japan LLC - Lexan
945**

Anexo 3 – Ficha técnica: SEBS VS21030811 – CJP Sales Ltd

Anexo 4 – Ficha técnica: Multiflex G 75 A 520

Anexo 5 – Ficha técnica: Ferromatik K-TEC 250 S

Anexo 6 – Ficha técnica: Inautom Euro Inj D-400

Anexo 7 – Perfil de injeção: pré-produção

Anexo 8 – Perfil de injeção: produção

Anexo 1 – Ficha técnica: Sabic® PC 1000R Resin

SABIC® PC PC1000R Resin

Polycarbonate

SABIC Innovative Plastics Europe



Prospector

Product Description

PC1000R resin is a medium-low flow (MFR = 10 at 300°C/1.2kg), heat stabilized, polycarbonate product with mold release designed for use in the general purpose molding market. It is available exclusively at www.sabicpc.com

General

Material Status	• Commercial: Active
Availability	• Europe
Additive	• Heat Stabilizer • Mold Release
Features	• Medium Flow
Uses	• General Purpose
RoHS Compliance	• RoHS Compliant
Processing Method	• Injection Molding

Physical	Nominal Value Unit	Test Method
Specific Gravity	1.20 g/cm ³	ASTM D792 ISO 1183
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (300°C/1.2 kg)	10 g/10 min	ASTM D1238
Melt Volume-Flow Rate (MVR) (300°C/1.2 kg)	9.50 cm ³ /10min	ISO 1133
Molding Shrinkage - Flow		Internal Method
-- ²	0.50 to 0.70 %	
3.20 mm	0.50 to 0.70 %	
Water Absorption		
Saturation, 23°C	0.35 %	ISO 62
Equilibrium, 23°C	0.35 %	ASTM D570
Mechanical	Nominal Value Unit	Test Method
Tensile Modulus		
-- ³	2350 MPa	ASTM D638
--	2350 MPa	ISO 527-2/1
Tensile Strength		
Yield ⁴	63.0 MPa	ASTM D638
Yield	63.0 MPa	ISO 527-2/50
Tensile Elongation		
Yield ⁴	6.0 %	ASTM D638
Yield	6.0 %	ISO 527-2/50
Break ⁴	> 70 %	ASTM D638
Break	> 70 %	ISO 527-2/50
Flexural Modulus		
50.0 mm Span ⁵	2300 MPa	ASTM D790
-- ⁶	2300 MPa	ISO 178
Flexural Strength		
-- ^{6,7}	90.0 MPa	ISO 178
Yield, 50.0 mm Span ⁵	90.0 MPa	ASTM D790
Impact	Nominal Value Unit	Test Method
Notched Izod Impact		
23°C	800 J/m	ASTM D256
-30°C ⁸	12 kJ/m ²	ISO 180/1A
23°C ⁸	70 kJ/m ²	ISO 180/1A
Unnotched Izod Impact		
23°C	No Break	ASTM D4812 ISO 180/1U
-30°C ⁸	No Break	ISO 180/1U
Instrumented Dart Impact		ASTM D3763
23°C, Energy at Peak Load	65.0 J	
Hardness	Nominal Value Unit	Test Method
Rockwell Hardness (R-Scale)	120	ASTM D785

1 of 3

Copyright © 2011 - IDES - The Plastics Web ® | 800-788-4668 or 307-742-9227 | www.ides.com.

The information presented on this datasheet was acquired by IDES from the producer of the material. IDES makes substantial efforts to assure the accuracy of this data. However, IDES assumes no responsibility for the data values and strongly encourages that upon final material selection, data points are validated with the material supplier.

Revision History

Document Created: Wednesday, March 16, 2011
Added to Prospector: September, 2009
Last Updated: 8/6/2010

Hardness	Nominal Value Unit	Test Method
		ISO 2039-2
Thermal	Nominal Value Unit	Test Method
Deflection Temperature Under Load		
0.45 MPa, Unannealed, 3.20 mm	138 °C	ASTM D648
0.45 MPa, Unannealed, 64.0 mm Span ⁹	138 °C	ISO 75-2/Bf
1.8 MPa, Unannealed, 3.20 mm	127 °C	ASTM D648
1.8 MPa, Unannealed, 64.0 mm Span ⁹	127 °C	ISO 75-2/Af
Vicat Softening Temperature	143 °C	ISO 306/B50 ASTM D1525 ¹⁰
Ball Pressure Test (125°C)	Pass	IEC 60695-10-2
CLTE - Flow		
-40 to 95°C	0.000070 cm/cm/°C	ASTM E831
23 to 80°C	0.000070 cm/cm/°C	ISO 11359-2
Thermal Conductivity	0.20 W/m/K	ASTM C177 ISO 8302
Electrical	Nominal Value Unit	Test Method
Volume Resistivity	> 1.0E+15 ohm·cm	ASTM D257 IEC 60093
Dielectric Strength (1.60 mm)	27 kV/mm	ASTM D149 IEC 60243-1
Dielectric Constant		ASTM D150 IEC 60250
60 Hz	3.00	
1 MHz	3.00	
Dissipation Factor		ASTM D150 IEC 60250
60 Hz	0.0010	
1 MHz	0.010	
Optical	Nominal Value Unit	Test Method
Refractive Index	1.586	ASTM D542 ISO 489
Transmittance (2540 µm)	88.0 to 90.0 %	ASTM D1003
Haze (2540 µm)	< 0.80 %	ASTM D1003
Injection	Nominal Value Unit	
Drying Temperature	120 °C	
Drying Time	2.0 to 4.0 hr	
Suggested Max Moisture	0.020 %	
Hopper Temperature	60.0 to 80.0 °C	
Rear Temperature	260 to 280 °C	
Middle Temperature	270 to 290 °C	
Front Temperature	280 to 310 °C	
Nozzle Temperature	270 to 290 °C	
Processing (Melt) Temp	280 to 310 °C	
Mold Temperature	80.0 to 110 °C	

SABIC® PC PC1000R Resin
Polycarbonate
SABIC Innovative Plastics Europe

Wednesday, March 16, 2011

Notes

¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.

² Tensile Bar

³ 50 mm/min

⁴ Type I, 50 mm/min

⁵ 1.3 mm/min

⁶ 2.0 mm/min

⁷ Yield

⁸ 80*10*3

⁹ 80*10*4 mm

¹⁰ Rate B (120°C/h), Loading 2 (50 N)

Revision History

Document Created: Wednesday, March 16, 2011
Added to Prospector: September, 2009
Last Updated: 8/6/2010

**Anexo 2 – Ficha técnica: Sabic Innovative Plastics Japan LLC - Lexan
945**

LEXAN* 945 Resin

Tuesday, November 08, 2011

General Information

Product Description

Lexan* 945 Polycarbonate (PC) resin is a non-filled, injection moldable grade. This non-chlorinated, non-brominated flame retardant PC has an UL-94 V0 rating and is available in various opaque color options. Lexan 945 is a general purpose resin designed to meet the needs of various applications.

General

Material Status	• Commercial: Active	
Availability	• Asia Pacific	
Additive	• Flame Retardant	
Features	• Bromine Free	• Flame Retardant
	• Chlorine Free	• General Purpose
Uses	• General Purpose	
Appearance	• Colors Available	• Opaque
Processing Method	• Injection Molding	

ASTM & ISO Properties ¹

Physical	Nominal Value	Unit	Test Method
Specific Gravity	1.19	g/cm ³	ASTM D792
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (300°C/1.2 kg)	10	g/10 min	ASTM D1238
Molding Shrinkage - Flow (3.20 mm)	0.60 to 0.80	%	Internal Method
Mechanical	Nominal Value	Unit	Test Method
Tensile Modulus ²	2280	MPa	ASTM D638
Tensile Strength ³ (Yield)	62.1	MPa	ASTM D638
Tensile Strength ³ (Break)	65.5	MPa	ASTM D638
Tensile Elongation ³ (Yield)	6.0	%	ASTM D638
Tensile Elongation ³ (Break)	130	%	ASTM D638
Flexural Modulus ⁴ (50.0 mm Span)	2340	MPa	ASTM D790
Flexural Strength ⁴ (Yield, 50.0 mm Span)	101	MPa	ASTM D790
Impact	Nominal Value	Unit	Test Method
Notched Izod Impact (23°C)	800	J/m	ASTM D256
Instrumented Dart Impact (23°C, Total Energy)	73.4	J	ASTM D3763
Thermal	Nominal Value	Unit	Test Method
Deflection Temperature Under Load 0.45 MPa, Unannealed, 3.20 mm	138	°C	ASTM D648
Deflection Temperature Under Load 1.8 MPa, Unannealed, 3.20 mm	127	°C	ASTM D648
Vicat Softening Temperature	143	°C	ASTM D1525 ⁵
CLTE - Flow (-40 to 40°C)	0.000067	cm/cm/°C	ASTM E831

Disclaimer : THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SABIC INNOVATIVE PLASTICS HOLDING BV, ITS SUBSIDIARIES AND AFFILIATES ("SELLER"), ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH CAN BE FOUND AT <http://www.sabic-ip.com>. AND ARE AVAILABLE UPON REQUEST. ALTHOUGH ANY INFORMATION OR RECOMMENDATION CONTAINED HEREIN IS GIVEN IN GOOD FAITH, SELLER MAKES NO WARRANTY OR GUARANTEE, EXPRESS OR IMPLIED, (i) THAT THE RESULTS DESCRIBED HEREIN WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (ii) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN INCORPORATING SELLER'S PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS. EXCEPT AS PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS PRODUCTS OR SERVICES DESCRIBED HEREIN. Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. No statement by Seller concerning a possible use of any product, service or design is intended, or should be construed, to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of such product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC Innovative Plastics is a trademark of SABIC Holding Europe BV

* LEXAN is a trademark of SABIC Innovative Plastics IPV

© 1997-2011 SABIC Innovative Plastics Holding BV. All rights reserved

LEXAN* 945 Resin

SABIC Innovative Plastics Asia Pacific - Polycarbonate

Thermal	Nominal Value	Unit	Test Method
CLTE - Transverse (-40 to 40°C)	0.000067	cm/cm/°C	ASTM E831
Electrical	Nominal Value	Unit	Test Method
Arc Resistance (PLC) ⁶	PLC 7		ASTM D495
Flammability	Nominal Value	Unit	Test Method
Flame Rating - UL			UL 94
1.14 mm	V-0		
3.05 mm	5VA		
Glow Wire Flammability Index (1.00 mm)	960	°C	IEC 60695-2-12
Glow Wire Ignition Temperature (1.00 mm)	875	°C	IEC 60695-2-13
Oxygen Index	35	%	ISO 4589-2
UL	Nominal Value	Unit	Test Method
RTI Str	130	°C	UL 746
RTI Imp	120	°C	UL 746
RTI Elec	130	°C	UL 746
Comparative Tracking Index (CTI) (PLC)	PLC 2		UL 746
High Voltage Arc Tracking Rate (HVTR) (PLC)	PLC 4		UL 746
Hot-wire Ignition (HWI) (PLC)	PLC 2		UL 746
High Amp Arc Ignition (HAI) (PLC)	PLC 3		UL 746

Processing Information

Injection	Nominal Value	Unit
Drying Temperature	121	°C
Drying Time	3.0 to 4.0	hr
Drying Time, Maximum	48	hr
Suggested Max Moisture	0.020	%
Suggested Shot Size	40 to 60	%
Rear Temperature	271 to 293	°C
Middle Temperature	282 to 304	°C
Front Temperature	293 to 316	°C
Nozzle Temperature	288 to 310	°C
Processing (Melt) Temp	293 to 316	°C
Mold Temperature	71.1 to 93.3	°C
Back Pressure	0.345 to 0.689	MPa
Screw Speed	40 to 70	rpm
Vent Depth	0.025 to 0.076	mm

Disclaimer : THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SABIC INNOVATIVE PLASTICS HOLDING BV, ITS SUBSIDIARIES AND AFFILIATES ("SELLER"), ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH CAN BE FOUND AT <http://www.sabic-ip.com>. AND ARE AVAILABLE UPON REQUEST. ALTHOUGH ANY INFORMATION OR RECOMMENDATION CONTAINED HEREIN IS GIVEN IN GOOD FAITH, SELLER MAKES NO WARRANTY OR GUARANTEE, EXPRESS OR IMPLIED, (i) THAT THE RESULTS DESCRIBED HEREIN WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (ii) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN INCORPORATING SELLER'S PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS. EXCEPT AS PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS PRODUCTS OR SERVICES DESCRIBED HEREIN Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. No statement by Seller concerning a possible use of any product, service or design is intended, or should be construed, to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of such product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC Innovative Plastics is a trademark of SABIC Holding Europe BV

* LEXAN is a trademark of SABIC Innovative Plastics IPV

© 1997-2011 SABIC Innovative Plastics Holding BV.All rights reserved

LEXAN* 945 Resin

SABIC Innovative Plastics Asia Pacific - Polycarbonate

Notes

¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.

² 50 mm/min

³ Type I, 50 mm/min

⁴ 1.3 mm/min

⁵ Rate B (120°C/h), Loading 2 (50 N)

⁶ Tungsten Electrode

Disclaimer : THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SABIC INNOVATIVE PLASTICS HOLDING BV, ITS SUBSIDIARIES AND AFFILIATES ("SELLER"), ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH CAN BE FOUND AT <http://www.sabic-ip.com>. AND ARE AVAILABLE UPON REQUEST. ALTHOUGH ANY INFORMATION OR RECOMMENDATION CONTAINED HEREIN IS GIVEN IN GOOD FAITH, SELLER MAKES NO WARRANTY OR GUARANTEE, EXPRESS OR IMPLIED, (i) THAT THE RESULTS DESCRIBED HEREIN WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (ii) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN INCORPORATING SELLER'S PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS. EXCEPT AS PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS PRODUCTS OR SERVICES DESCRIBED HEREIN Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. No statement by Seller concerning a possible use of any product, service or design is intended, or should be construed, to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of such product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC Innovative Plastics is a trademark of SABIC Holding Europe BV

* LEXAN is a trademark of SABIC Innovative Plastics IPV

© 1997-2011 SABIC Innovative Plastics Holding BV.All rights reserved

Anexo 3 – Ficha técnica: SEBS VS21030811 – CJP Sales Ltd



SEBS

Styrene Ethylene Butadiene Styrene

Description SEBS-based compounds with excellent elastomeric properties and a rubberlike appearance, designed for injection moulding and co-moulding onto polyolefines. They have excellent U.V. stability and are also suitable for extrusion applications. There are many variants from pure transparent high elasticity grades to filled gasket grades.	
Applications Car interiors, home furnishings, domestic electrical appliances, flippers & other diving equipment, ski-boots, skating shoes, gaskets, parts for tools, handles, door handles etc. Food grades and medical: tops for containers and bottles. Toys.	
Types of grade available Shore A 10 - 60 Translucent grades with excellent electrometric properties. Opaque grades with excellent all-round properties Co-moulding high flow grades Transparent grades High temperature grades Hard grades with high modulus Over moulding Polar resins Over moulding Polyamides	
General Processing	
Drying Time	N/A
Drying Temperature	N/A
Type of Drier	N/A
Purging	Using PP/LDPE
Moisture Absorption	NO
Other Considerations	Easy to process
Processing Injection Moulding	
Barrel Settings	205°C - 245°C for larger parts 260°C maybe required.
Injection speed	Medium
Injection Pressure	350 to 1500 kg/cm ²
Back Pressure	Medium - High
Screw Speed	25 to 75 rpm
Tool Temperature	35-65 °C
Melt Temperature	175-200C

Processing Stability	Excellent
Gate Considerations	Due to the flexibility of SEBS small gates can be used such as sub gates and pin gates
Sprue & Runner Considerations	The shorter the land length the better and use full round runners.
Processing Extrusion	
Barrel Settings	160 - 210°C
Screw Speed	50- 100 rpm
Screen Packs	Breaker plate/screens for higher back pressure and therefore smoother profile surface
Haul-off / Cooling	Water bath chilled 10c
Calibration	Suitable for use with a vacuum calibrator or sizing plates.
Flammability	
Flammability Rating	HB
Weatherability	
Suitability for outdoor use	YES
Fillers & Additives	Plasticiser into eb phase, Reinforcing polymers, Fillers & and other modifying agents,
Chemical Resistance	
Resistant to	Water, Aqueous Solutions, Strong Acids (except Nitric) Strong Bases, Milk, Beer & Wine
Not resistant to	Oils, Fats, Petrol, Alcohols, Glycols & Freon
Food Contact Status	Grades available
Colouring	Easily coloured using universal masterbatches
WEEE & ROHS Compliance	
	Yes
Bonding	Can be bonded using a urethane based adhesive
Welding	Can be welded by hot plate welding or high frequency welding

This information has been provided as a general guide and we suggest that you carry out your own specific tests to be sure that this material is suitable for your application.

Anexo 4 – Ficha técnica: Multiflex G 75 A 520

TECHNICAL DATA SHEET

MULTIFLEX[®] G 75 A 520 205/09 10779

Technical Data Sheet status : Definitive
Market : Automotive
Compatibility : PP
Process : Injection moulding
Current applications : Exterior / Trim seal

PROPERTIES	UNITS	STANDARDS	AVERAGE VALUES
Hardness	Shore A	ISO 868 – MDA 110	75
Density		ISO R1183 – MDA 112	1.15
Spiral flow	Cm	MDA 179	64.5
Tensile strength at 100% elongation	MPa	ISO 37 - type 1 v =500mm/min MDA 121	4.2 2.2
• Flow direction			
• Cross direction			
Tensile strength at 200% elongation	MPa	ISO 37 - type 1 v =500mm/min MDA 121	4.4 2.6
• Flow direction			
• Cross direction			
Tensile strength at 300% elongation	MPa	ISO 37 - type 1 v =500mm/min MDA 121	4.6 3.0
• Flow direction			
• Cross direction			
Tensile strength at break	MPa	ISO 37 - type 1 v =500mm/min MDA 121	6.0 9.0
• Flow Direction			
• Cross Direction			
Elongation at break	%	ISO 37 - type 1v =500mm/min MDA 121	500 740
• Flow Direction			
• Cross Direction			
Tear strength	kN/m	ISO 34 MDA 140	32.0 33.0
• Flow Direction			
• Cross Direction			
Compression set :	%	ISO 815 MDA 129	24
• 24 h / 23°C			

The MDA (Méthode d'Analyse) named in this document are issued from the ISO Standards

LIMITED WARRANTY INFORMATION - PLEASE READ CAREFULLY

The information contained herein is offered in good faith and is believed to be accurate. However, because conditions and methods of use of our products are beyond our control, this information should not be used in substitution for customer's tests to ensure that Multibase's products are safe, effective, and fully satisfactory for intended end use.

Suggestions of use shall not be taken as inducements to infringe any patent. Multibase's sole warranty is that the product will meet the Multibase sales specifications in effect at the time of shipment. Your exclusive remedy for breach of such warranty is limited to refund of purchase price or replacement of any product shown to be other than as warranted.

MULTIBASE SPECIFICALLY DISCLAIMS ANY OTHER EXPRESS OR IMPLIED WARRANTY OF FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR MERCHANTABILITY. DISCLAIMS LIABILITY FOR ANY INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES.

MULTIFLEX[®] is a registered trademark of MULTIBASE

Drawing up date : 2005/01
Revision Index : 6

Anexo 5 – Ficha técnica: Ferromatik K-TEC 250 S

Unità di chiusura	
Forza di chiusura	kN
Distanza tra le colonne (H x V)	mm
Dimensione piani portastampo (H x V)	mm
Corsa apertura stampo	mm
Distanza tra i piani max.	mm
Altezza montaggio stampo min. / max.	mm
Peso sui piani max. (mobile / fisso)	kg
Forza di apertura	kN
Forza di estrazione	kN
Corsa estrattore	mm
Ciclo a vuoto (Euromap 6) ¹⁾	s - mm

Unità d’iniezione	
Diametro vite	mm
Pressione d’iniezione max.	bar
Volume max. iniettabile	cm ³
Peso stampata max. (PS)	g
Corsa vite	mm
Corsa unità d’iniezione	mm
Forza accostamento ugello	kN
Capacità d’iniezione	cm ³ /s
Velocità rotazione vite	min ⁻¹
Capacità di plastificazione ²⁾	g/s
Rapporto vite ³⁾	L/D
Numero zone riscaldamento	qty
Potenza totale riscaldamento	kW

Dati generali	
Potenza totale installata ⁴⁾	kW
Dimensioni Macchina (L x W x H)	m
Peso netto	kg
Capacità’ serbatoio olio	l

- 1) Corsa = 70% distanza colonne, 70% forza di chiusura
- 2) Per PS: 10 s tempo ciclo, 1,5 D corsa vite
- 3) Altri L/D su richiesta
- 4) Secondo specifiche Ferromatik Milacron
- 5) Opzione

2^ Unità d’iniezione opzionale con posizione

- V = Verticale
- H = Orizzontale
- PB = Piggy Back
- T = Trasversale (laterale)
- VM = Verticale Monosandwich
- HM = Orizzontale Monosandwich

Unidade de Fecho	
kN	Força de fecho
mm	Distância entre colunas (H x V)
mm	Dimensões dos pratos (H x V)
mm	Curso de abertura do molde
mm	Distância máxima entre pratos
mm	Altura do molde min. / máx.
kg	Peso máximo permitido do molde (móve / fixo)
kN	Força de abertura
kN	Força de extracção
mm	Curso de extracção
s - mm	Número de ciclos em vazio (EUROMAP 6) ¹⁾

Unidade de Injecção	
mm	Diâmetro do fuso
bar	Pressão máxima de injecção
cm ³	Volume máximo de injecção
g	Peso máximo da peça injectada (PS)
mm	Curso do fuso
mm	Curso do grupo de injecção
kN	Força de apoio do bico
cm ³ /s	Caudal de injecção
min ⁻¹	Rotação do fuso
g/s	Caudal de plastificação ²⁾
L/D	Cumprimento do fuso ³⁾
qty	Número de zonas de aquecimento
kW	Potência de aquecimento instalada

Dados Gerais	
kW	Potência total instalada ⁴⁾
m	Dimensões da máquina (C x L x A)
kg	Peso neto
l	Capacidade do tanque hidráulico

- 1) Curso = 70% distância entre colunas, 70% força de fecho
- 2) Calculadopara PS: 10 s de tempo de ciclo, 1,5 D de curso do fuso
- 3) Consultar fusos com outros L/D
- 4) Segundo especificações da Ferromatik Milacron
- 5) Opção

Segunda unidade de injecção opcional em posição

- V = Vertical
- H = Horinzontal
- PB = 45 graus no lado da injecção
- T = 45 graus sobre prato móvel
- VM = Vertical Monosandwich
- HM = Horinzontal Monosandwich

K-TEC 250 S / K-TEC 275 S

250 / 275					
2.500 / 2.750					
630 x 630 (750 x 750, 825 x 825) ⁵⁾					
970 x 1.035 (1.110 x 1.165, 1.110 x 1.195) ⁵⁾					
850					
1.195 (1.395, 1.595) ⁵⁾					
345 (545, 745) ⁵⁾ / -					
2.400 / 1.150					
144 / 163					
85					
200					
1,8 - 441					

1.000		1.650		2.650	
50	60	60	70	70	80
2.268	1.575	2.144	1.575	2.175	1.665
441	636	763	1.039	1.213	1.583
401	579	694	946	1.104	1.441
225		270		315	
525		525		525	
63		115		115	
1.480	2.000	1.480	2.000	1.550	2.000
320		275		240	
52	65	60	67	73	85
22	18,3	22	18,6	22	19,3
4 + 1		4 + 1		4 + 1	
18,2	18,2	22,7	22,7	30,7	30,7

250 / 275 - 1.000		250 / 275 - 1.650		250 / 275 - 2.650	
68		71		77	
7,49 x 2,16 x 2,72		7,76 x 2,16 x 2,72		8,22 x 2,16 x 2,72	
15.500		16.000		18.500	
680		680		680	

2^ Unità d'iniezione opzionale con posizione					Segunda unidade de injeção opcional em posição		
111 : V - H - PB - T							
	Diametro vite	mm	18	25	30	mm	Diâmetro de fuso
265 : V - H - PB - T							
	Diametro vite	mm	30	35	40	mm	Diâmetro de fuso
493 : V - H - PB - T - VM							
	Diametro vite	mm	40	45	50	mm	Diâmetro de fuso
1.000 : H - HM							
	Diametro vite	mm	50	60		mm	Diâmetro de fuso

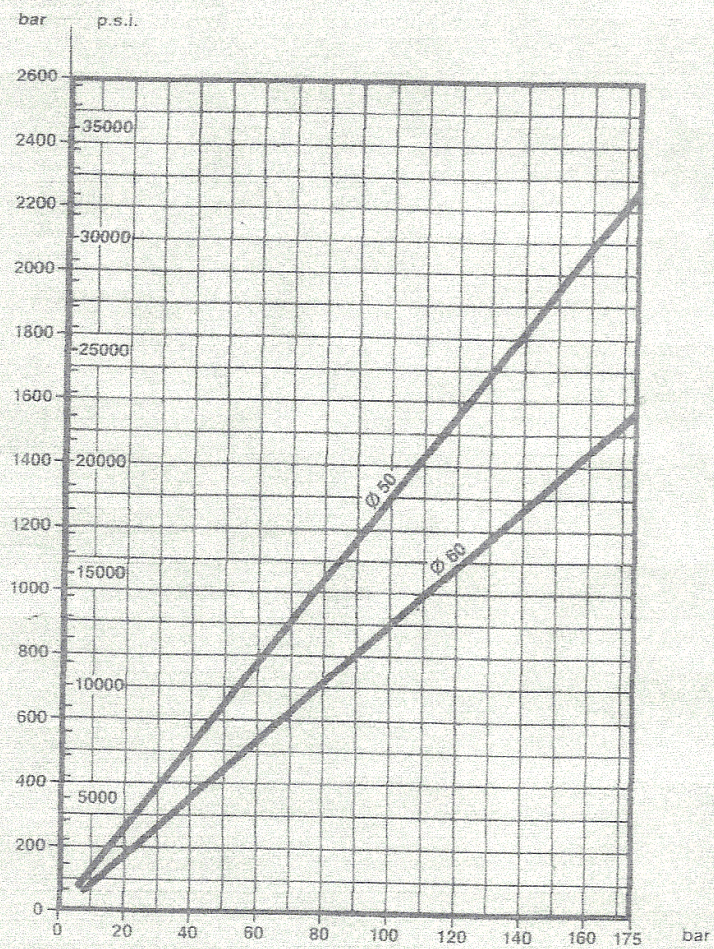
K-TEC 320 S / K-TEC 350 S

320 / 350					
3.200 / 3.500					
750 x 750 (825 x 825) ⁵⁾					
1.110 x 1.165 (1.110 x 1.195) ⁵⁾					
850					
1.230 (1.430, 1.630) ⁵⁾					
380 (580, 780) ⁵⁾ / -					
3.000 / 1.500					
179					
85					
200					
2,1 - 525					

1.000		1.650		2.650	
50	60	60	70	70	80
2.268	1.575	2.144	1.575	2.175	1.665
441	636	763	1.039	1.213	1.583
401	579	694	946	1.104	1.441
225		270		315	
525		525		525	
63		115		115	
1.480	2.000	1.480	2.000	1.550	2.000
320		275		240	
52	65	60	67	73	85
22	18,3	22	18,6	22	19,3
4 + 1		4 + 1		4 + 1	
18,2	18,2	22,7	22,7	30,7	30,7

320 / 350 - 1.000		320 / 350 - 1.650		320 / 350 - 2.650	
68		71		77	
7,71 x 2,22 x 2,81		7,98 x 2,22 x 2,81		8,44 x 2,22 x 2,81	
20.500		21.000		22.000	
680		680		680	

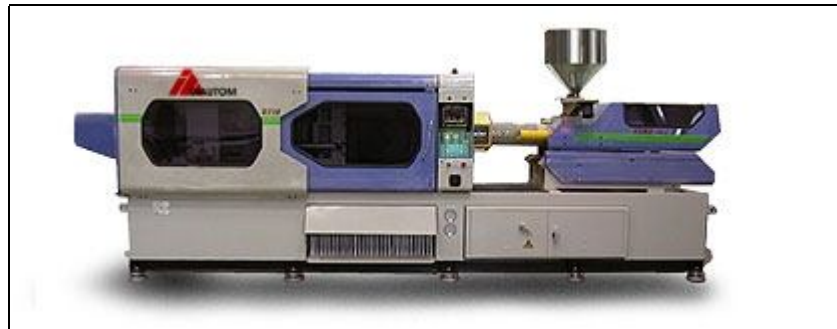
2^ Unità d'iniezione opzionale con posizione					Segunda unidade de injeção opcional em posição		
111 : V - H - PB - T							
Diametro vite	mm	18	25	30	mm	Diâmetro de fuso	
265 : V - H - PB - T							
Diametro vite	mm	30	35	40	mm	Diâmetro de fuso	
493 : V - H - PB - T - VM							
Diametro vite	mm	40	45	50	mm	Diâmetro de fuso	
1.000 : H - HM							
Diametro vite	mm	50	60		mm	Diâmetro de fuso	
2.650 : HM							
Diametro vite	mm	70	80		mm	Diâmetro de fuso	



Anexo 6 – Ficha técnica: Inautom Euro Inj D-400



Euro Inj D-400



Injecção		Unid.			
Sistema de Injecção	Diâmetro do Fuso	mm	70	75	80
	Relação L/D	L/D	21.4	20	18.7
	Volume Injecção	cm ³	1423	1634	1859
	Peso Injecção	gr	1281	1471	1673
		oz	45.2	51.8	59
	Pressão Injecção	bar	1872	1631	1433
	Índice Injecção	g/sec	316	363	413
	Curso do Fuso	mm	370		
Sistema de Fecho	Força Fecho Max	ton	400		
	Max Curso Abertura	mm	700		
	Expes. Molde Min	mm	200		
	Expes. Molde Max	mm	900		
	Abertura Max	mm	1600		
	Espaço entre Colunas	mm	760x760		
	Diâmetro Colunas	mm	130		
	Max Força Extractor	ton	13.3		
	Max Curso Extractor	mm	225		
Dados Gerais	Moto Bomba	kw(HP)	45 (60)		
	Pressão Hidraulica	bar	140		
	Potência Aquecim.	kw	22		
	Nº Zonas Aquecim.	qty	5+N		
	Capac. tanque Óleo	l	1200		
	Dimensões Máquina	m	8.5x2.0x2.15		
	Peso Máquina	kgs	21.000		

[Imprimir Ficha](#)
[Fechar Janela](#)

Anexo 7 – Perfil de injeção: pré-produção

Relatório de Ensaio do Molde

N.º Ensaio: 1065/4

Data: 8/01/2017

N.º Molde: 1065 N.º Cav.: 1 N.º Versões: 1 Molde Família: 1065
Designação: MOLDE ANE 830 15mm Fornecedor: hps
Máquina: 8 f250 Referência: 13:0 N.º Projecto: 13:0
Afinador: Carlos Dias Início Ensaio: 13:0 Horas Fim Ensaio: 13:0 Horas

CONDIÇÕES DE ENSAIO

Matéria-Prima	Cor	Qtd. Produzida	Desumidificação Matéria-Prima
<u>pe lito</u>		<u>400</u>	Estufa: Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
			Temperatura: <u> </u> °C
			Tempo: <u> </u> H

Temperatura Molde	Temperatura da Máquina
Ld Injecção: <u> </u> °C	
Ld Extracção: <u> </u> °C	
Movimentos: <u> </u> °C	
	Bico <u>280</u> °C Diâmetro do fuso <u>60</u> mm Rot. Fuso: <u>120</u> rpm

Temperatura Carburador e Canais Quentes

Grupo 1: °C Grupo 4: °C Grupo 7: °C Grupo 10: °C
Grupo 2: °C Grupo 5: °C Grupo 8: °C Grupo 11: °C
Grupo 3: °C Grupo 6: °C Grupo 9: °C Grupo 12: °C

Pressões

2ª 50 Bar
Contrapressão: 10 Bar
Força de Fecho: 20 Ton.

Perfil de Injecção

Velocidade Injecção	<u>15</u>	<u>50</u>					mm/s
Pressão Injecção							Bar
Curso Injecção	<u>205</u>	<u>45</u>					mm
Dosagem: <u>220</u> mm							mm
Almofada: <u>425</u>							mm

Tempos

2ª: 4 seg.
Injecção: seg
Arrefecimento: 30 seg
Ciclo: 54 seg

Peso: 446,08 gr e Gito 14,84 gr

Peça 1: 446,08 gr Peça 5: gr Peça 9: gr
Peça 2: gr Peça 6: gr Peça 10: gr
Peça 3: gr Peça 7: gr Peça 11: gr
Peça 4: gr Peça 8: gr Peça 12: gr

COMPORTAMENTO DO MOLDE

Montagem	S	N	Funcionamento	S	N	Controlo Enchimento	S	N
Içamento Correcto			Mecânica Correcta			Injecção Equilibrada		
Circuitos de Água Estanques			Extracção Correcta			Facilidade Enchimento		
Circuitos de Óleo Estanques			Cilindros Hidráulicos Correctos			Polimento Nervuras Correcto		
Aperto á Máquina Conforme			Guias Incl/ Movim. Correctos			Polimento Geral Correcto		
Carburador Conforme			Travamento Correcto			Linha de Junta Conforme		
KO Conforme			Segurança do Molde Correcta			Ausência de Silicone		
Anel de Centragem Correcto			Funcionamento Automático			Desmoldagem Correcta		
Marcação de Águas Saida/Entrada			Válvulas de Ar Correctas			Fugas de Gases Suficientes		
Caixas Eléctricas Conforme			Dupla Extracção Correcta			Entrada de Injecção Correcta		
Barra de Segurança Conforme						Aspecto Peça	S	N
Observações <u>Produção de 100 peças - 50 seg</u>						Rebarbas		
						Chupados		
						Material Queimado		
						Raspados		
						Gases		
						Linhas de União		
						Marcas de Fluxo		
						Marcas de Extractores		
						Aspecto Geral Correcto		

Relatório de Ensaio do Molde

N.º Ensaio: 1666

Data: 11/01/2011

N.º Molde: Int 1666 N.º Cav.: 1 N.º Versões: — Molde Família: HRG
Designação: Anu-chene 835 Sali Fornecedor: Difer
Máquina: 131400 Referência: — N.º Projecto: —
Afinador: Qia Início Ensaio: 9:00 Horas Fim Ensaio: 11:30 Horas

CONDIÇÕES DE ENSAIO

Matéria-Prima	Cor	Qtd. Produzida	Desumidificação Matéria-Prima
SEBS ALLARUNA US 21030811	h w	20	Estufa: Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/> Temperatura: <u>—</u> °C Tempo: <u>—</u> H
Temperatura Molde		Temperatura da Máquina	
Ld Injecção: <u>—</u> °C			
Ld Extracção: <u>—</u> °C	Bico <u>200</u> °C Diâmetro do fuso <u>—</u> mm Rot. Fuso: <u>80%</u> rpm		
Movimentos: <u>—</u> °C			

Temperatura Carburador e Canais Quentes

Grupo 1: — °C Grupo 4: — °C Grupo 7: — °C Grupo 10: — °C
Grupo 2: — °C Grupo 5: — °C Grupo 8: — °C Grupo 11: — °C
Grupo 3: — °C Grupo 6: — °C Grupo 9: — °C Grupo 12: — °C

Pressões

Perfil de Injecção

2ª 20 Bar
Contrapressão: — Bar
Força de Fecho: — Ton.

Velocidade Injecção	Pressão Injecção	Curso Injecção	Dosagem	Almofada
<u>40 70</u>	<u>—</u>	<u>30 45</u>	<u>190</u> mm	<u>—</u> mm

Tempos

Peso: Injecção gr e Gito gr

2ª: 5 seg.
Injecção: — seg
Arrefecimento: 30 seg
Ciclo 67 + 0.5 seg

Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4	Peça 5	Peça 6	Peça 7	Peça 8	Peça 9	Peça 10	Peça 11	Peça 12
<u>—</u> gr	<u>—</u> gr	<u>—</u> gr	<u>—</u> gr	<u>—</u> gr	<u>—</u> gr	<u>—</u> gr	<u>—</u> gr	<u>—</u> gr	<u>—</u> gr	<u>—</u> gr	<u>—</u> gr


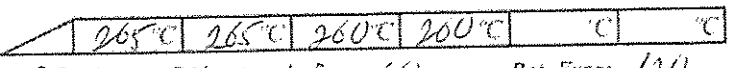
COMPORTAMENTO DO MOLDE

Montagem	S	N	Funcionamento	S	N	Controlo Enchimento	S	N
Içamento Correcto			Mecânica Correcta			Injecção Equilibrada		
Circuitos de Água Estantes			Extracção Correcta			Facilidade Enchimento		
Circuitos de Óleo Estantes			Cilindros Hidráulicos Correctos			Polimento Nervuras Correcto		
Aperto à Máquina Conforme			Guias Incl/ Movim. Correctos			Polimento Geral Correcto		
Carburador Conforme			Travamento Correcto			Linha de Junta Conforme		
KO Conforme			Segurança do Molde Correcta			Ausência de Silicone	V	
Anel de Centragem Correcto			Funcionamento Automático			Desmoldagem Correcta	V	
Marcação de Águas Saída/Entrada			Válvulas de Ar Correctas			Fugas de Gases Suficientes		
Caixas Eléctricas Conforme			Dupla Extracção Correcta			Entrada de Injecção Correcta		
Barra de Segurança Conforme						Aspecto Peça	S	N

Observações

Ensaio de peça + ensaio M. pura Ensaio na prensa (S: Coimbra - h-p) [Signature]	Chupados		
	Material Queimado		
	Raspados		
	Gases		
	Linhas de União		
	Marcas de Fluxo		
	Marcas de Extractores		
	Aspecto Geral Correcto		

Anexo 8 – Perfil de injeção: produção

 FÁBRICA DE PLÁSTICOS	Relatório de Ensaio do Molde	N.º Ensaio: <u>1665</u> Data: <u>14/02/2011</u>																																				
N.º Molde: <u>PRF 1665</u> N.º Cav.: _____ N.º Versões: _____ Molde Família: <u>HR6</u> Designação: <u>ARALEHNE 830 HARD</u> Fornecedor: <u>Prif</u> Máquina: <u>8 P250</u> Referência: _____ N.º Projecto: _____ Afinador: <u>Orão</u> Início Ensaio: <u>15:30</u> Horas Fim Ensaio: <u>19:00</u> Horas																																						
CONDIÇÕES DE ENSAIO																																						
Matéria-Prima	Cor	Qtd. Produzida																																				
<u>P. Preto</u>	<u>100</u>	Desumidificação Matéria-Prima																																				
		Estufa: Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>																																				
		Temperatura: _____ °C																																				
		Tempo: _____ H																																				
Temperatura Molde	Temperatura da Máquina																																					
Ld Injecção: <u>Quente</u> °C																																						
Ld Extracção: <u>Quente</u> °C	Bico <u>280</u> °C Diâmetro do fuso <u>60</u> mm Rot. Fuso: <u>120</u> rpm																																					
Movimentos: <u>Quente</u> °C																																						
Temperatura Carburador e Canais Quentes																																						
Grupo 1: _____ °C	Grupo 4: _____ °C	Grupo 7: _____ °C																																				
Grupo 2: _____ °C	Grupo 5: _____ °C	Grupo 8: _____ °C																																				
Grupo 3: _____ °C	Grupo 6: _____ °C	Grupo 9: _____ °C																																				
Pressões																																						
2ª: <u>80</u> Bar	Perfil de Injecção																																					
Contrapressão: <u>10</u> Bar	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Velocidade Injecção</td> <td>15</td> <td>50</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>mm/s</td> </tr> <tr> <td>Pressão Injecção</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Bar</td> </tr> <tr> <td>Curso Injecção</td> <td>205</td> <td>60</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>mm</td> </tr> <tr> <td>Dosagem: <u>220+2</u> mm</td> <td colspan="7"></td> <td>Almofada: <u>42,5</u> mm</td> </tr> </table>		Velocidade Injecção	15	50						mm/s	Pressão Injecção								Bar	Curso Injecção	205	60						mm	Dosagem: <u>220+2</u> mm								Almofada: <u>42,5</u> mm
Velocidade Injecção	15	50						mm/s																														
Pressão Injecção								Bar																														
Curso Injecção	205	60						mm																														
Dosagem: <u>220+2</u> mm								Almofada: <u>42,5</u> mm																														
Força de Fecho: <u>250</u> Tm.																																						
Tempos	Peso: Injecção gr e Gito gr																																					
2ª: <u>7</u> seg.	Peça 1: _____ gr Peça 5: _____ gr Peça 9: _____ gr																																					
Injecção: _____ seg.	Peça 2: _____ gr Peça 6: _____ gr Peça 10: _____ gr																																					
Arrefecimento: <u>10</u> seg.	Peça 3: _____ gr Peça 7: _____ gr Peça 11: _____ gr																																					
Ciclo: _____ seg.	Peça 4: _____ gr Peça 8: _____ gr Peça 12: _____ gr																																					
COMPORTAMENTO DO MOLDE																																						
Montagem	S	N																																				
lçamento Correcto																																						
Circuitos de Água Estancos																																						
Circuitos de Óleo Estancos																																						
Aperto à Máquina Conforme																																						
Carburador Conforme																																						
KO Conforme																																						
Anel de Centragem Correcto																																						
Marcacção de Águas Saída/Entrada																																						
Caixas Eléctricas Conforme																																						
Barra de Segurança Conforme																																						
Funcionamento	S	N																																				
Mecânica Correcta																																						
Extracção Correcta																																						
Cilindros Hidráulicos Correctos																																						
Guias Incl/ Movim. Correctos																																						
Travamento Correcto																																						
Segurança do Molde Correcta																																						
Funcionamento Automático																																						
Válvulas de Ar Correctas																																						
Dupla Extracção Correcta																																						
Controlo Enchimento	S	N																																				
Injecção Equilibrada																																						
Facilidade Enchimento																																						
Polimento Nervuras Correcto																																						
Polimento Geral Correcto																																						
Linha de Junta Conforme																																						
Ausência de Silicone																																						
Desmoldagem Correcta																																						
Fugas de Gases Suficientes																																						
Entrada de Injecção Correcta																																						
Aspecto Peça	S	N																																				
Rebarbas																																						
Chupados																																						
Material Queimado																																						
Raspados																																						
Gases																																						
Linhas de União																																						
Marcas de Fluxo																																						
Marcas de Extractores																																						
Aspecto Geral Correcto																																						

N.º Molde: Ref 1666 N.º Cav.: 1 N.º Versões: Molde Família: HAB
Designação: ARALEHENE 835 Sgt Fornecedor: Prior
Máquina: 132400 Referência: N.º Projecto:
Afinador: Dea Início Ensaio: 10:00 Horas Fim Ensaio: 15:00 Horas

CONDIÇÕES DE ENSAIO

Matéria-Prima	Cor	Qtd. Produzida	Desumidificação Matéria-Prima
<u>SEBS VS 210 30 814 Preto</u>	<u>50</u>		Estufa: Sim <input type="checkbox"/> Não <input checked="" type="checkbox"/>
			Temperatura: <u> </u> °C
			Tempo: <u> </u> H

Temperatura Molde	Temperatura da Máquina
Ld Injecção: <u>200</u> °C	<u>180</u> °C <u>170</u> °C <u>160</u> °C <u>140</u> °C <u> </u> °C <u> </u> °C
Ld Extracção: <u>200</u> °C	Bico <u>200</u> °C Diâmetro do fuso <u> </u> mm Rot. Fuso: <u>800</u> rpm
Movimentos: <u>200</u> °C	

Temperatura Carburador e Canais Quentes

Grupo 1: <u> </u> °C	Grupo 4: <u> </u> °C	Grupo 7: <u> </u> °C	Grupo 10: <u> </u> °C
Grupo 2: <u> </u> °C	Grupo 5: <u> </u> °C	Grupo 8: <u> </u> °C	Grupo 11: <u> </u> °C
Grupo 3: <u> </u> °C	Grupo 6: <u> </u> °C	Grupo 9: <u> </u> °C	Grupo 12: <u> </u> °C

Pressões	Perfil de Injecção
2ª: <u>40</u> Bar	Velocidade Injecção: <u>60</u> mm/s
Contrapressão: <u> </u> Bar	Pressão Injecção: <u> </u> Bar
Força de Fecho: <u>40</u> Ton.	Curso Injecção: <u>30</u> mm
	Dosagem: <u>120</u> mm Almofada: <u> </u> mm

Tempos	Peso: Injecção gr e Gito gr
2ª: <u> </u> seg	Peça 1: <u> </u> gr Peça 5: <u> </u> gr Peça 9: <u> </u> gr
Injecção: <u> </u> seg	Peça 2: <u> </u> gr Peça 6: <u> </u> gr Peça 10: <u> </u> gr
Arrefecimento: <u> </u> seg	Peça 3: <u> </u> gr Peça 7: <u> </u> gr Peça 11: <u> </u> gr
Ciclo: <u> </u> seg	Peça 4: <u> </u> gr Peça 8: <u> </u> gr Peça 12: <u> </u> gr

COMPORTAMENTO DO MOLDE

Montagem	S	N	Funcionamento	S	N	Controlo Enchimento	S	N
Íçamento Correcto			Mecânica Correcta			Injecção Equilibrada		
Circuitos de Água Estanques			Extracção Correcta			Facilidade Enchimento		
Circuitos de Óleo Estanques			Cilindros Hidráulicos Correctos			Polimento Nervuras Correcto		
Aperto à Máquina Conforme			Cuias Incl/ Movim. Correctos			Polimento Geral Correcto		
Carburador Conforme			Travamento Correcto			Linha de Junta Conforme		
KO Conforme			Segurança do Molde Correcta			Ausência de Silicone		
Anel de Centragem Correcto			Funcionamento Automático			Desmoldagem Correcta		
Marcação de Águas Saída/Entrada			Válvulas de Ar Correctas			Fugas de Gases Suficientes		
Caixas Eléctricas Conforme			Dupla Extracção Correcta			Entrada de Injecção Correcta		
Barra de Segurança Conforme						Aspecto Peça	S	N
Observações <u>OK</u>						Rebarbas		
						Chupados		
						Material Queimado		
						Raspados		
						Gases		
						Linhas de União		
						Marcas de Fluxo		
						Marcas de Extractores		
						Aspecto Geral Correcto		